

JOSÉ DE CASTRO SILVA

**CARACTERIZAÇÃO DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis*
Hill ex. Maiden, DE DIFERENTES IDADES, VISANDO A
SUA UTILIZAÇÃO NA INDÚSTRIA MOVELEIRA**

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação
em Engenharia Florestal do Setor de Ciências
Agrárias da Universidade Federal do Paraná,
como requisito parcial para a obtenção do
título de “Doutor em Ciências Florestais”, Área
de Concentração: Tecnologia e Utilização de
Produtos Florestais.

Orientador: Prof. Dr. Sidon Keinert Júnior

CURITIBA

2002



Universidade Federal do Paraná
Setor de Ciências Agrárias – Centro de Ciências Florestais e da Madeira
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal
Av. Lothário Meissner, 3400 - Jardim Botânico - CAMPUS III
80210-170 - CURITIBA - Paraná
Tel. (41) 360.4212 - Fax (41) 360.4211 - <http://www.floresta.ufpr.br/poe-graduacao>
e-mail: pinheiro@floresta.ufpr.br

PARECER

Defesa nº 489

A banca examinadora, instituída pelo colegiado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, após arguir a doutorando JOSÉ DE CASTRO SILVA em relação ao seu trabalho de tese intitulado "CARACTERIZAÇÃO DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, DE DIFERENTES IDADES, VISANDO A SUA UTILIZAÇÃO NA INDÚSTRIA MOVELEIRA", é de parecer favorável à APROVAÇÃO do acadêmico, habilitando-o ao título de *Doutor em Ciências Florestais*, na área de concentração em *Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais*.

Ph.D. Sidon Keinert Junior

Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal da UFPR
Orientador e presidente da banca examinadora

Dr. Mario Tomazello Filho

Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – ESALQ/USP
Primeiro examinador

Dr. José Tarcísio da Silva Oliveira

Universidade Federal do Espírito Santo - UFES
Segundo examinador

Dr. Setsuo Iwakiri

Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal da UFPR
Terceiro examinador

Dr. Jorge Luis Monteiro de Matos

Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal da UFPR
Quarto examinador

Curitiba, 09 de setembro de 2002.

Nivaldo Eduardo Rizzi

Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal

Franklin Galvão

Vice-coordenador

DEDICO ESTE TRABALHO

a DEUS,

a minha esposa e meus filhos,
ao meu pai e minha sogra,
as mais felizes presenças;

às memórias de minha mãe e de meu filho,
as mais tristes ausências.

aos professores Jorge Matos,
Sidon Keinert,
Setsuo Iwakiri,
José Tarcísio,
Mário Tomazello e
Ricardo Marius Della Lucia,
a eterna admiração pelos exemplos de vida.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade do treinamento;

À Universidade Federal do Paraná, pela realização do treinamento e pela amável acolhida;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) – Programa PICD – pela concessão da bolsa e apoio financeiro;

Aos Profs. Dr. Sidon Keinert Júnior e Jorge Luis Monteiro de Matos, pela orientação, estímulo e ensinamentos, consolidados na admiração e amizade, ao longo dos preciosos anos de convivência;

Ao Professor Setsuo Iwakiri, pelas preciosas sugestões, bem como pelas lições de vida e amizade;

Ao Professor José Tarcísio da Silva Oliveira, pela participação sempre constante na minha vida profissional e apoio na condução dos trabalhos de laboratório, bem como nas sugestões e discussões de resultados;

Ao Professor Mário Tomazello Filho, pela amizade de longa data e apoio incondicional na realização de parte dos trabalhos;

Ao Professor Maurinho Luiz dos Santos, pela amizade e confiança no sucesso dessa empreitada;

À KLABIN Fabricadora de Papel e Celulose S. A., pela cessão da madeira, e aos seus funcionários, Eng^a. Ivone e Técnico Luis Carlos, pela dedicação na fase de coleta da madeira e presteza nas informações;

Ao Sr. César Castanho, Diretor-Presidente da CASCOL – Indústria Madeireira; pela ajuda nos serviços de desdobro e secagem da madeira;

Ao Sr. Jorge Luiz Jacon e ao técnico Maurício do Rosário, do Centro Tecnológico da Madeira e do Mobiliário – CETMAM – de São José dos Pinhais, pela realização dos testes de usinagem da madeira;

Aos biólogos Geraldo José Zenid e Gonzalo Antônio Caballeira Lopez, pelo apoio na análise microscópica e na condução dos testes de resistência natural ao ataque de cupins;

Ao Eng. Luís Cláudio Lisi, pelo zelo e competência na condução dos testes de densitometria de raios-X;

À bibliotecária Tânia de Barros Baggio, pelas correções e sugestões do texto e referências;

Ao colega Christóvão Pereira Abrahão, pelo aconselhamento, discussão e apresentação dos resultados;

Aos laboratoristas da Universidade

Federal de Viçosa, da Universidade Federal do Paraná, da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz e do Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo, pela ajuda na realização dos testes de laboratório;

Aos colegas do curso de pós-graduação da Universidade Federal do Paraná, pela sadia convivência e amizade;

A minha família, pelo apoio e estímulo e, principalmente, pela abnegação em suportar infinitas horas de ausência, durante a minha permanência em Curitiba, longe do convívio familiar e das saudosas plagas mineiras;

A todos que, direta ou indiretamente, souberam entender e compensar as minhas limitações pessoais, acreditando no projeto e nos propósitos estabelecidos e participaram dessa empreitada.

Compartilho com todos esta vitória.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE TABELAS E QUADROS	xiv
LISTA DE ABREVIATURAS	xviii
RESUMO.....	xix
ABSTRACT.....	xx
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS.....	4
2.1 OBJETIVO GERAL.....	4
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
3 REVISÃO DE LITERATURA	5
4 METODOLOGIA GERAL DO TRABALHO.....	11
4.1 DESCRIÇÃO DO LOCAL.....	11
4.2 PROCEDIMENTOS SILVICULTURAIS.....	12
4.3 DERRUBADA DAS ÁRVORES E DESDOBRIO DAS TORAS.....	13
4.4 AMOSTRAGEM DO MATERIAL	15
4.5 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	16
4.6 RESULTADOS DENDROMÉTRICOS	17
5 MASSA ESPECÍFICA	19
5.1 MATERIAL E MÉTODOS	22
5.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
5.2.1 Massa específica básica	23
5.2.2 Massa específica aparente.....	27
5.2.3 Densitometria de raios-X.....	30
6 COMPOSIÇÃO QUÍMICA.....	36
6.1 MATERIAL E MÉTODOS	39
6.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
6.2.1 Teor de extrativos totais.....	39
6.2.2 Teor de lignina total.....	42

6.2.3 Teor de holocelulose.....	45
7 ANATOMIA DA MADEIRA.....	48
7.1 MATERIAL E MÉTODOS.....	52
7.2 RESULTADOS E DISCUSSÕES	54
7.2.1 Descrição anatômica qualitativa	54
7.2.2 Descrição anatômica quantitativa	56
7.2.2.1 Comprimento das fibras.....	56
7.2.2.2 Largura das fibras	59
7.2.2.3 Diâmetro do lume	62
7.2.2.4 Espessura da parede.....	64
7.2.2.5 Diâmetro tangencial dos vasos.....	67
7.2.2.6 Frequência dos vasos	69
8 RETRATIBILIDADE	72
8.1 MATERIAL E MÉTODOS.....	76
8.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO	77
8.2.1 Contração volumétrica total.....	77
8.2.2 Contração radial total.....	79
8.2.3 Contração tangencial total	82
8.2.4 Contração longitudinal total.....	84
8.2.5 Fator anisotrópico.....	86
9 PROPRIEDADES MECÂNICAS DA MADEIRA	89
9.1 MATERIAL E MÉTODOS	92
9.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO	92
9.2.1 Módulo de elasticidade (MOE).....	92
9.2.2 Módulo de ruptura (MOR).....	95
10 RESISTÊNCIA NATURAL AO ATAQUE DE CUPIM DE MADEIRA SECA	98
10.1 MATERIAL E MÉTODOS	100
10.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO	101
11 USINABILIDADE DA MADEIRA	104

11.1 MATERIAL E MÉTODOS	108
11.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO	111
11.2.1 Aplainamento	111
11.2.2 Fresagem longitudinal e transversal	113
11.2.3 Cópia de perfil	114
11.2.4 Furação para espiga	116
11.2.5 Furação	117
11.2.6 Corte paralelo	119
11.2.7 Corte transversal	120
12 CORRELAÇÕES	123
12.1 RESULTADOS E DISCUSSÃO	126
13 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	130
REFERÊNCIAS	134
ANEXOS	148
ANEXO 1 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA DA MADEIRA DE <i>Eucalyptus grandis</i>	149
ANEXO 2 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA MASSA ESPECÍFICA APARENTE DA MADEIRA DE <i>Eucalyptus grandis</i>	149
ANEXO 3 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO TEOR DE EXTRATIVOS DA MADEIRA DE <i>Eucalyptus grandis</i>	150
ANEXO 4 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO TEOR DE LIGNINA DA MADEIRA DE <i>Eucalyptus grandis</i>	150
ANEXO 5 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO TEOR DE HOLOCELULOSE DA MADEIRA DE <i>Eucalyptus grandis</i>	151
ANEXO 6 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO COMPRIMENTO DE FIBRAS DA MADEIRA DE <i>Eucalyptus grandis</i>	151
ANEXO 7 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA LARGURA DAS FIBRAS DA MADEIRA DE <i>Eucalyptus grandis</i>	152
ANEXO 8 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO DIÂMETRO DO LUME DAS FIBRAS DA MADEIRA DE <i>Eucalyptus grandis</i>	152

ANEXO 9 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA ESPESSURA DA PAREDE DAS FIBRAS DA MADEIRA DE <i>Eucalyptus grandis</i>	153
ANEXO 10 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO DIÂMETRO TANGENCIAL DOS VASOS DA MADEIRA DE <i>Eucalyptus grandis</i>	153
ANEXO 11 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA FREQUÊNCIA DE VASOS DA MADEIRA DE <i>Eucalyptus grandis</i> DE DIFERENTES IDADES	154
ANEXO 12 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA CONTRAÇÃO VOLUMÉTRICA TOTAL DA MADEIRA DE <i>Eucalyptus grandis</i> DE DIFERENTES IDADES	154
ANEXO 13 -ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA CONTRAÇÃO RADIAL DA MADEIRA DE <i>Eucalyptus grandis</i> DE DIFERENTES IDADES	155
ANEXO 14 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA CONTRAÇÃO TANGENCIAL DA MADEIRA DE <i>Eucalyptus grandis</i> DE DIFERENTES IDADES	155
ANEXO 15 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA CONTRAÇÃO LONGITUDINAL DA MADEIRA DE <i>Eucalyptus grandis</i> DE DIFERENTES IDADES.....	156
ANEXO 16 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO FATOR ANISOTRÓPICO DA MADEIRA DE <i>Eucalyptus grandis</i> DE DIFERENTES IDADES	156
ANEXO 17 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO MÓDULO DE ELASTICIDADE (MOE) DA MADEIRA DE <i>Eucalyptus grandis</i> DE DIFERENTES IDADES.....	157
ANEXO 18 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO MÓDULO DE RUPTURA (MOR) DA MADEIRA DE <i>Eucalyptus grandis</i> DE DIFERENTES IDADES.....	157
ANEXO 19 - COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO DE PEARSON ENTRE A MASSA ESPECÍFICA BÁSICA E AS CONTRAÇÕES LINEARES E VOLUMÉTRICA DA MADEIRA DE <i>Eucalyptus grandis</i> EM RELAÇÃO À IDADE E POSIÇÃO RADIAL NO SENTIDO MEDULA-CASCA.....	158
ANEXO 20 -COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO DE PEARSON ENTRE AS CARACTERÍSTICAS DIMENSIONAIS ANATÔMICAS DA MADEIRA DE <i>Eucalyptus grandis</i> EM RELAÇÃO À IDADE E POSIÇÃO RADIAL NO SENTIDO MEDULA-CASCA	158

ANEXO 21 - COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO DE PEARSON ENTRE OS COMPONENTES QUÍMICOS DA MADEIRA DE <i>Eucalyptus grandis</i> EM RELAÇÃO À IDADE E POSIÇÃO LONGITUDINAL NO SENTIDO BASE-TOPO.....	159
ANEXO 22 - COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO DE PEARSON ENTRE A MASSA ESPECÍFICA APARENTE E AS PROPRIEDADES DE RESISTÊNCIA MECÂNICA DA MADEIRA DE <i>Eucalyptus grandis</i> EM RELAÇÃO À IDADE E POSIÇÃO RADIAL NO SENTIDO MEDULA-CASCA.....	159
ANEXO 23 - COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO DE PEARSON ENTRE OS TESTES DE USINAGEM DA MADEIRA DE <i>Eucalyptus grandis</i> EM RELAÇÃO À IDADE.....	160

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DA EMPRESA	11
FIGURA 2 - VISTA GERAL DAS TORAS DE <i>EUCALYPTUS GRANDIS</i> DE DIFERENTES IDADES NA FASE DE TRANSPORTE PARA DESDOBRO	14
FIGURA 3 - ESQUEMA DE RETIRADA DAS AMOSTRAS AO LONGO DO TRONCO (ADAPTADO DE TOMAZELLO FILHO (1985 B)).....	15
FIGURA 4 - VARIAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA (G/CM ³) DA MADEIRA DE <i>EUCALYPTUS GRANDIS</i> DE DIFERENTES IDADES E POSIÇÕES NO SENTIDO MEDULA-CASCA.....	26
FIGURA 5 - VARIAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA APARENTE (G/CM ³) DA MADEIRA DE <i>EUCALYPTUS GRANDIS</i> DE DIFERENTES IDADES E POSIÇÕES NO SENTIDO MEDULA-CASCA.....	29
FIGURA 6 - PERFIL DENSITOMÉTRICO DA SEÇÃO RADIAL DA MADEIRA DE <i>EUCALYPTUS GRANDIS</i> , COM DEZ ANOS DE IDADE	30
FIGURA 7 - PERFIL DENSITOMÉTRICO DA SEÇÃO RADIAL DA MADEIRA DE <i>EUCALYPTUS GRANDIS</i> , COM QUATORZE ANOS DE IDADE	31
FIGURA 8 - PERFIL DENSITOMÉTRICO DA SEÇÃO RADIAL DA MADEIRA DE <i>EUCALYPTUS GRANDIS</i> , COM VINTE ANOS DE IDADE	32
FIGURA 9 - PERFIL DENSITOMÉTRICO DA SEÇÃO RADIAL DA MADEIRA DE <i>EUCALYPTUS GRANDIS</i> , COM VINTE E CINCO ANOS DE IDADE	34
FIGURA 10 - VARIAÇÃO DO TEOR DE EXTRATIVOS TOTAIS (%) DA MADEIRA DE <i>EUCALYPTUS GRANDIS</i> DE DIFERENTES IDADES E POSIÇÕES AO LONGO DO TRONCO	42
FIGURA 11 - VARIAÇÃO DO TEOR DE LIGNINA TOTAL (%) DA MADEIRA DE <i>EUCALYPTUS GRANDIS</i> DE DIFERENTES IDADES E POSIÇÕES AO LONGO DO TRONCO	45

FIGURA 12 - VARIAÇÃO DO TEOR DE HOLOCELULOSE (%) DA MADEIRA DE <i>EUCALYPTUS GRANDIS</i> DE DIFERENTES IDADES E POSIÇÕES AO LONGO DO TRONCO	47
FIGURA 13 - FOTOMICROGRAFIAS MOSTRANDO A SEÇÃO TRANSVERSAL (A), LONGITUDINAL TANGENCIAL (B) E LONGITUDINAL RADIAL (C) DA MADEIRA DE <i>EUCALYPTUS GRANDIS</i> , AOS QUATORZE ANOS DE IDADE (A BARRA CORRESPONDE A 100 μM)	54
FIGURA 14 - VARIAÇÃO DO COMPRIMENTO DAS FIBRAS DA MADEIRA DE <i>EUCALYPTUS GRANDIS</i> DE DIFERENTES IDADES E POSIÇÕES NO SENTIDO MEDULA-CASCA	58
FIGURA 15 - VARIAÇÃO DA LARGURA DAS FIBRAS (μM) DA MADEIRA DE <i>EUCALYPTUS GRANDIS</i> DE DIFERENTES IDADES E POSIÇÕES NO SENTIDO MEDULA-CASCA	61
FIGURA 16 - VARIAÇÃO DO DIÂMETRO DO LUME DAS FIBRAS DA MADEIRA (μM) DE <i>EUCALYPTUS GRANDIS</i> DE DIFERENTES IDADES E POSIÇÕES NO SENTIDO MEDULA-CASCA.....	63
FIGURA 17 - VARIAÇÃO DA ESPESSURA DA PAREDE DAS FIBRAS (μM) DA MADEIRA DE <i>EUCALYPTUS GRANDIS</i> DE DIFERENTES IDADES E POSIÇÕES NO SENTIDO MEDULA-CASCA.....	66
FIGURA 18 - VARIAÇÃO DO DIÂMETRO TANGENCIAL DE VASOS (μM) DA MADEIRA DE <i>EUCALYPTUS GRANDIS</i> DE DIFERENTES IDADES E POSIÇÕES NO SENTIDO MEDULA-CASCA.....	69
FIGURA 19 - VARIAÇÃO DA FREQUÊNCIA DE VASOS (POROS/ MM^2) DA MADEIRA DE <i>EUCALYPTUS GRANDIS</i> DE DIFERENTES IDADES E POSIÇÕES NO SENTIDO MEDULA-CASCA.....	71
FIGURA 20 - VARIAÇÃO DA CONTRAÇÃO VOLUMÉTRICA TOTAL (%) DA MADEIRA DE <i>EUCALYPTUS GRANDIS</i> DE DIFERENTES IDADES E POSIÇÕES NO SENTIDO MEDULA-CASCA.....	79

FIGURA 21 - VARIAÇÃO DA CONTRAÇÃO RADIAL TOTAL (%) DA MADEIRA DE <i>EUCALYPTUS GRANDIS</i> DE DIFERENTES IDADES E POSIÇÕES NO SENTIDO MEDULA-CASCA.....	81
FIGURA 22 - VARIAÇÃO DA CONTRAÇÃO TANGENCIAL TOTAL (%) DA MADEIRA DE <i>EUCALYPTUS GRANDIS</i> DE DIFERENTES IDADES E POSIÇÕES NO SENTIDO MEDULA-CASCA.....	83
FIGURA 23 - VARIAÇÃO DA CONTRAÇÃO LONGITUDINAL TOTAL (%) DA MADEIRA DE <i>EUCALYPTUS GRANDIS</i> DE DIFERENTES IDADES E POSIÇÕES NO SENTIDO MEDULA-CASCA.....	86
FIGURA 24 - VARIAÇÃO DO FATOR ANISOTRÓPICO DA MADEIRA DE <i>EUCALYPTUS GRANDIS</i> DE DIFERENTES IDADES E POSIÇÕES NO SENTIDO MEDULA-CASCA	88
FIGURA 25 - VARIAÇÃO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE EM FLEXÃO ESTÁTICA (KGF/CM ²) DA MADEIRA DE <i>EUCALYPTUS GRANDIS</i> DE DIFERENTES IDADES E POSIÇÕES NO SENTIDO MEDULA-CASCA	94
FIGURA 26 - VARIAÇÃO DO MÓDULO DE RUPTURA EM FLEXÃO ESTÁTICA (KGF/CM ²) DA MADEIRA DE <i>EUCALYPTUS GRANDIS</i> DE DIFERENTES IDADES E POSIÇÕES NO SENTIDO MEDULA-CASCA	97
FIGURA 27 - DESGASTE DAS PEÇAS POR CUPINS DE MADEIRA SECA EM MADEIRA DE <i>EUCALYPTUS GRANDIS</i> DE DIFERENTES IDADES	103
FIGURA 28 - COMPORTAMENTO DA MADEIRA DE <i>EUCALYPTUS GRANDIS</i> DE DIFERENTES IDADES NO ENSAIO DE APLAINAMENTO	112
FIGURA 29 - COMPORTAMENTO DA MADEIRA DE <i>EUCALYPTUS GRANDIS</i> DE DIFERENTES IDADES NO ENSAIO DE FRESAGEM LONGITUDINAL E TRANSVERSAL.....	114
FIGURA 30 - COMPORTAMENTO DA MADEIRA DE <i>EUCALYPTUS GRANDIS</i> DE DIFERENTES IDADES NO ENSAIO DE CÓPIA DE PERFIL	115

FIGURA 31 - COMPORTAMENTO DA MADEIRA DE <i>EUCALYPTUS GRANDIS</i> DE DIFERENTES IDADES NO ENSAIO DE FURAÇÃO PARA ESPIGA.....	117
FIGURA 32 - COMPORTAMENTO DA MADEIRA DE <i>EUCALYPTUS GRANDIS</i> DE DIFERENTES IDADES NO ENSAIO DE FURAÇÃO	118
FIGURA 33 - COMPORTAMENTO DA MADEIRA DE <i>EUCALYPTUS GRANDIS</i> DE DIFERENTES IDADES NO ENSAIO DE CORTE PARALELO	120
FIGURA 34 - COMPORTAMENTO DA MADEIRA DE <i>EUCALYPTUS GRANDIS</i> DE DIFERENTES IDADES NO ENSAIO DE CORTE TRANSVERSAL	122

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - CARACTERÍSTICAS DO MATERIAL GENÉTICO E CONDIÇÕES EDÁFICAS E DE RELEVO DO LOCAL DOS PLANTIOS.....	12
TABELA 2 - PROCEDIMENTOS SILVICULTURAIS E RESULTADOS DENDROMÉTRICOS DOS PLANTIOS	13
TABELA 3 - ENSAIOS E NORMAS UTILIZADOS NA CARACTERIZAÇÃO DA MADEIRA DE <i>EUCALYPTUS GRANDIS</i> DE DIFERENTES IDADES	16
TABELA 4 - PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DA MADEIRA DE DIFERENTES IDADES DE <i>EUCALYPTUS GRANDIS</i>	17
TABELA 5 - VALORES MÉDIOS DE MASSA ESPECÍFICA BÁSICA (G/CM ³) DA MADEIRA DE <i>EUCALYPTUS GRANDIS</i> , DE DIFERENTES IDADES E POSIÇÕES NO SENTIDO MEDULA-CASCA (M-C)...	24
TABELA 6 - VALORES MÉDIOS DE MASSA ESPECÍFICA APARENTE (G/CM ³) DA MADEIRA DE <i>EUCALYPTUS GRANDIS</i> , DE DIFERENTES IDADES E POSIÇÕES NO SENTIDO MEDULA-CASCA (M-C)...	28
TABELA 7 - VALORES MÉDIOS DOS TEORES DE EXTRATIVOS TOTAIS (%) DA MADEIRA DE <i>EUCALYPTUS GRANDIS</i> , DE DIFERENTES IDADES E POSIÇÕES AO LONGO DO TRONCO	40
TABELA 8 - VALORES MÉDIOS DOS TEORES DE LIGNINA TOTAL (%) DA MADEIRA DE <i>EUCALYPTUS GRANDIS</i> , DE DIFERENTES IDADES E POSIÇÕES AO LONGO DO TRONCO	43
TABELA 9 - VALORES MÉDIOS DOS TEORES DE HOLOCELULOSE (%) DA MADEIRA DE <i>EUCALYPTUS GRANDIS</i> , DE DIFERENTES IDADES E POSIÇÕES AO LONGO DO TRONCO	46
TABELA 10 - VALORES MÉDIOS DO COMPRIMENTO DAS FIBRAS (MM) DA MADEIRA DE <i>EUCALYPTUS GRANDIS</i> DE DIFERENTES IDADES E POSIÇÕES NO SENTIDO MEDULA-CASCA.....	57

TABELA 11 - VALORES MÉDIOS DE LARGURA DAS FIBRAS (μM) DA MADEIRA DE <i>EUCALYPTUS GRANDIS</i> DE DIFERENTES IDADES E POSIÇÕES NO SENTIDO MEDULA-CASCA.....	60
TABELA 12 - VALORES MÉDIOS DO DIÂMETRO DO LUME (μM) DA MADEIRA DE <i>EUCALYPTUS GRANDIS</i> DE DIFERENTES IDADES E POSIÇÕES NO SENTIDO MEDULA-CASCA.....	62
TABELA 13 - VALORES MÉDIOS DA ESPESSURA DA PAREDE (μM) DA MADEIRA DE <i>EUCALYPTUS GRANDIS</i> DE DIFERENTES IDADES E POSIÇÕES NO SENTIDO MEDULA-CASCA.....	65
TABELA 14 - VALORES MÉDIOS DO DIÂMETRO TANGENCIAL DOS VASOS (μM) DA MADEIRA DE <i>EUCALYPTUS GRANDIS</i> DE DIFERENTES IDADES E POSIÇÕES NO SENTIDO MEDULA-CASCA	68
TABELA 15 - VALORES MÉDIOS DE FREQUÊNCIA DE VASOS (POROS/ MM^2) DA MADEIRA DE <i>EUCALYPTUS GRANDIS</i> DE DIFERENTES IDADES E POSIÇÕES NO SENTIDO MEDULA-CASCA.....	70
TABELA 16 - VALORES MÉDIOS DE CONTRAÇÃO VOLUMÉTRICA TOTAL (%) DA MADEIRA DE <i>EUCALYPTUS GRANDIS</i> , DE DIFERENTES IDADES E POSIÇÕES NO SENTIDO MEDULA-CASCA.....	77
TABELA 17 - VALORES MÉDIOS DE CONTRAÇÃO RADIAL TOTAL (%) DA MADEIRA DE <i>EUCALYPTUS GRANDIS</i> , DE DIFERENTES IDADES E POSIÇÕES NO SENTIDO MEDULA-CASCA.....	80
TABELA 18 - VALORES MÉDIOS DE CONTRAÇÃO TANGENCIAL TOTAL (%) DA MADEIRA DE <i>EUCALYPTUS GRANDIS</i> , DE DIFERENTES IDADES E POSIÇÕES NO SENTIDO MEDULA-CASCA.....	82
TABELA 19 - VALORES MÉDIOS DE CONTRAÇÃO LONGITUDINAL TOTAL (%) DA MADEIRA DE <i>EUCALYPTUS GRANDIS</i> , DE DIFERENTES IDADES E POSIÇÕES NO SENTIDO MEDULA-CASCA.....	85

TABELA 20 - VALORES MÉDIOS DO FATOR ANISOTRÓPICO DA MADEIRA DE <i>EUCALYPTUS GRANDIS</i> , DE DIFERENTES IDADES E POSIÇÕES NO SENTIDO MEDULA-CASCA	87
TABELA 21 - VALORES MÉDIOS DO MÓDULO DE ELASTICIDADE (MOE) EM FLEXÃO ESTÁTICA (KGF/CM ²) DA MADEIRA DE <i>EUCALYPTUS GRANDIS</i> , DE DIFERENTES IDADES E POSIÇÕES NO SENTIDO MEDULA-CASCA	93
TABELA 22 - VALORES MÉDIOS DE MÓDULO DE RUPTURA (MOR) EM FLEXÃO ESTÁTICA (KGF/CM ²) DA MADEIRA DE <i>EUCALYPTUS GRANDIS</i> , DE DIFERENTES IDADES E POSIÇÕES NO SENTIDO MEDULA-CASCA	96
TABELA 23 - VALORES MÉDIOS DA PORCENTAGEM DE CUPINS MORTOS, NÚMERO DE FUROS E DESGASTE DA MADEIRA DE <i>EUCALYPTUS GRANDIS</i> , DE DIFERENTES IDADES	102
TABELA 24 - AVALIAÇÃO E PORCENTAGEM DE PEÇAS APROVADAS NOS TESTES DE APLAINAMENTO.....	111
TABELA 25 - AVALIAÇÃO E PORCENTAGEM DE PEÇAS APROVADAS NOS TESTES DE FRESAGEM LONGITUDINAL E TRANSVERSAL	113
TABELA 26 - AVALIAÇÃO E PORCENTAGEM DE PEÇAS APROVADAS NOS TESTES DE CÓPIA DE PERFIL.....	115
TABELA 27 - AVALIAÇÃO E PORCENTAGEM DE PEÇAS APROVADAS NOS TESTES DE FURAÇÃO PARA ESPIGA	116
TABELA 28 - AVALIAÇÃO E PORCENTAGEM DE PEÇAS APROVADAS NOS TESTES DE FURAÇÃO	118
TABELA 29 - AVALIAÇÃO E PORCENTAGEM DE PEÇAS APROVADAS NOS TESTES DE CORTE PARALELO	119
TABELA 30 - AVALIAÇÃO E PORCENTAGEM DE PEÇAS APROVADAS NOS TESTES DE CORTE TRANSVERSAL	121

TABELA 31 - COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DE PEARSON ENTRE DIVERSAS PROPRIEDADES DA MADEIRA DE <i>EUCALYPTUS GRANDIS</i> EM RELAÇÃO À IDADE E POSIÇÃO RADIAL.....	127
TABELA 32 - RESUMO DO COMPORTAMENTO DA MADEIRA DE <i>EUCALYPTUS GRANDIS</i> DE DIFERENTES IDADES E POSIÇÕES DENTRO DA ÁRVORE.....	130
QUADRO 1 - COMPARAÇÃO ENTRE AS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DE <i>EUCALYPTUS GRANDIS</i> , <i>PINUS ELLIOTTII</i> E ALGUMAS ESPÉCIES NATIVAS BRASILEIRAS	9
QUADRO 2 - EXPERIÊNCIAS DE CONTRAÇÕES LINEARES E VOLUMÉTRICAS COM MADEIRAS DE <i>EUCALYPTUS GRANDIS</i> DE DIFERENTES IDADES	76
QUADRO 3 - RESULTADOS DE TESTES DE USINAGEM COM A MADEIRA DE <i>EUCALYPTUS GRANDIS</i>	107

LISTA DE ABREVIATURAS

CV	-	coeficiente de variação
DP	-	desvio-padrão
g/cm^3	-	gramas por centímetro cúbico
kgf/cm^2	-	quilogramas-força por centímetro quadrado
MOE	-	módulo de elasticidade em flexão estática
MOR	-	módulo de ruptura em flexão estática

RESUMO

Num futuro muito próximo, árvores jovens, de rápido crescimento e de pequenas dimensões, tenderão compor o mercado madeireiro mundial, devido à grande demanda de madeira e pressões econômicas para resultados imediatos. A madeira de eucalipto se apresenta como alternativa de matéria-prima básica para diversos usos, principalmente a indústria moveleira. Este trabalho teve como objetivo avaliar a influência da variação da idade nas propriedades da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, bem como avaliar a sua aptidão de uso na indústria moveleira. O material utilizado foi proveniente de plantios comerciais, com idades de dez, quatorze, vinte e vinte e cinco anos, procedentes da Fazenda Monte Alegre, da KLABIN Fabricadora de Papel e Celulose S. A., localizada no município de Telêmaco Borba, no Estado do Paraná. Utilizaram-se dezesseis árvores, correspondentes a quatro árvores por idade. Para caracterização do material, realizaram-se ensaios para determinação das propriedades físicas (massa específica básica, massa específica aparente, retratibilidade linear e volumétrica e anisotropia), propriedades anatômicas, propriedades mecânicas (módulo de elasticidade e módulo de ruptura em flexão estática), composição química (teores de extrativos, lignina e holocelulose), resistência natural ao ataque de cupins de madeira seca e usinabilidade. Além da variação da idade, avaliou-se, também, o comportamento da madeira para cada propriedade no sentido radial e, em algumas situações, ao longo do tronco. Os resultados demonstraram que a idade influenciou significativamente todas as propriedades. A idade se mostrou positivamente correlacionada com quase todos os ensaios envolvidos, à exceção do teor de holocelulose, largura de fibras, diâmetro de lume e frequência de vasos, que decresceram com a idade. As alterações observadas no sentido radial para todos os ensaios foram mais significativas do que as alterações observadas entre as diferentes idades. Às alterações decorrentes da influência da variação da idade somam-se, também, as influências das variações ambientais, “site” e base genética. Embora a madeira de dez anos pudesse ser utilizada na indústria moveleira, observou-se um comportamento inadequado nessa atividade, em função de valores muito reduzidos nas suas propriedades ligadas à massa específica, resistência mecânica, estabilidade dimensional, resistência natural ao ataque de cupins e, principalmente, ensaios de usinagem. A madeira de quatorze anos, embora apresentasse valores de algumas propriedades adequados para a indústria moveleira, de uma maneira geral, mostrou-se, ainda, incipiente para tal uso. As madeiras de vinte e vinte e cinco anos apresentaram um comportamento semelhante e mostraram-se aptas para a utilização na indústria moveleira.

ABSTRACT

In the near future, young fast grown trees of small sizes will tend to dominate the world lumber market, due to increasing demand for wood and also to economic pressure for immediate results. The eucalypts seem viable alternatives as raw material for several uses, especially in the furniture industry. In this work, the influence of age on wood properties of *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden was evaluated, as well as its aptitude for use in furniture. The samples came from trees of 10, 14, 20 and 25 years of age, planted by Klabin Fabricadora de Papel e Celulose S. A. at Telêmaco Borba, State of Paraná, Brasil, in a property called Fazenda Monte Alegre. Sixteen trees were cut, four of each of the four ages. The following properties were determined, with the purpose of fully characterizing the wood of the trees: specific gravity, linear and volumetric shrinkage, the factor of anisotropy, anatomical properties, stiffness and modulus of rupture in bending, chemical composition (percentage of extractives, of lignin, of holocellulose), susceptibility to dry wood termite attack and machining properties. Along with the variation with age, the variability of the wood in the pith-to-bark direction was also described. The results indicated that age of the trees had a marked influence on all of the wood properties. The correlation is mostly positive, with the exception of percentage of cellulose, fiber width, lumen diameter and vessel frequency, that showed a decrease with age. Variability in the pith-to-bark direction is higher than that found among different ages. Variations due to site, environment and genotype are expected to add to that attributed to age. Although 10-year-old trees may yield lumber that may be used for furniture, it should be considered inadequate, due to low values of specific gravity, strength and stiffness, instability in dimensions, resistance to termites and, foremost, in its machining. Fourteen-year-old trees, while better than the younger trees in some properties, should also be considered inadequate. Twenty and twenty-five-year-old trees have similar properties and may be considered adequate for such a demanding industry.

1 INTRODUÇÃO

A despeito da existência de muitos sucedâneos, a madeira tem conservado muitos usos, principalmente nos países industrializados, em virtude de suas propriedades e características quase insubstituíveis, como beleza, grande resistência mecânica em relação ao peso, facilidade de uso, baixa condutibilidade térmica e baixa demanda de energia para sua conversão em produtos acabados. Outros produtos alternativos, como o aço, alumínio e plástico, no entanto, têm tentado ocupar os seus espaços, embora tais materiais sejam comprovadamente restritivos dos pontos de vista ambiental e estratégico.

É consensual que, nas últimas décadas, a matriz produtiva brasileira de madeira tenha apresentado uma substancial transformação. A matéria-prima básica, tradicionalmente oriunda de florestas nativas, está sendo gradativamente substituída por produtos sólidos ou reconstituídos, provenientes de florestas plantadas de rápido crescimento. Os problemas enfrentados pelos madeireiros do norte do País, relativos à falta de acesso, infra-estrutura e altos custos de transporte, agravados com a cobrança e a vigilância dos organismos internacionais, quanto à questão ambiental, têm estimulado os centros consumidores do Sul e Sudeste do País a se abastecerem de madeira oriunda de florestas plantadas, localizadas na própria região de consumo. As espécies usadas em reflorestamento apresentam, entre outras vantagens, alta produtividade, redução da idade de corte, segurança de abastecimento, homogeneidade de matéria-prima, custo competitivo, produção regionalizada, além da possibilidade de múltiplos usos da floresta e seus produtos.

Até o presente momento, a grande experiência silvicultural brasileira se limitou à produção de florestas jovens, de ciclo curto e de rápido crescimento. Nas últimas décadas, observou-se um vasto e bem sucedido programa de reflorestamento, com algumas espécies do gênero *Eucalyptus*, visando atender, principalmente, às necessidades de matéria-prima para a produção de polpa celulósica, chapa de fibra, carvão e lenha. E, assim, toda a madeira de eucalipto, atualmente disponível no Brasil, foi projetada para os usos anteriormente mencionados. O resultado de qualquer análise

sobre outras aplicações dessa madeira, como serraria, movelaria, marcenaria, lâminas, compensados e construção civil, demonstra que as experiências são, ainda, muito reduzidas e incipientes.

Num futuro bastante próximo, árvores jovens, de rápido crescimento e de pequenas dimensões, tenderão compor o mercado madeireiro, devido à grande demanda de madeira, aliada a pressões econômicas para resultados imediatos. Em vista da falta de controle da matéria-prima e dos parâmetros dependentes de um correto processamento, as experiências na área de serraria e marcenaria têm-se mostrado muito restritas, quanto à possibilidade de suas extrapolações. A reduzida participação no mercado da madeira serrada de eucalipto é creditada à baixa disponibilidade de material de qualidade para pronto uso e, principalmente, à desinformação e aos preconceitos sobre o comportamento da madeira nos produtos acabados. Há, ainda, uma crença arraigada de que a madeira de eucalipto racha demasiadamente e se deforma, de forma generalizada, inviabilizando o uso de qualquer peça acabada. Tal crença se deve, em parte, à presença de certas características desfavoráveis, inerentes à própria madeira, como elevada retratibilidade, propensão ao colapso e presença de tensões de crescimento, que levam a deformações, rachaduras, empenamentos e vários outros defeitos. Tais limitações de uso, no entanto, podem ser minimizadas através de procedimentos genéticos e silviculturais, adicionados a técnicas corretas de processamento e uso.

A indústria moveleira está reavaliando as possibilidades de utilização da madeira de eucalipto como sua matéria-prima básica. Em que pesem, ainda, as suas limitações, não há dúvidas de que, dentre as hipóteses de outras aplicações, a sua utilização na indústria moveleira e na construção civil é a que se encontra mais evidenciada e de melhores perspectivas no Brasil. O quadro atual tem grandes possibilidades de reversão, na medida em que se romperem alguns preconceitos e se aprofundarem os estudos sobre os “gargalos” tecnológicos já mencionados.

Face às crescentes dificuldades para a obtenção de madeira nativa, aliadas à falta de políticas que permitam uma exploração sustentada e racional das florestas

tropicais, além da grande demanda de madeira e pressões econômicas para resultados imediatos, o presente estudo é justificado pelos seguintes motivos:

- Necessidade de substituição das espécies nativas tradicionais, como cedro, mogno, entre outras, por uma madeira oriunda de reflorestamento, com propriedades semelhantes, devido ao contínuo esgotamento dos estoques nativos e às restrições de caráter ambiental, por parte dos países importadores de madeira;
- Carência de informações quanto às propriedades das madeiras provenientes de reflorestamento, com espécies de rápido crescimento, notadamente aquelas com potencial de uso múltiplo;
- Necessidade de estudo das propriedades da madeira, em função da variação da idade, identificando-lhe e avaliando-lhe as vantagens e limitações de uso, em idades mais jovens;
- Verificação científica e validação de paradigmas e preconceitos sobre o comportamento da madeira de diversas idades;
- Agregação de valor à madeira produzida pelas florestas de eucalipto, com a incorporação de inovações tecnológicas, qualificando-a para usos alternativos mais nobres;
- Destaque para a madeira de *Eucalyptus grandis*, em função das altas taxas de produtividade das florestas plantadas, elevada plasticidade, boa adaptação em grande parte do território brasileiro e relativa disponibilidade de florestas para pronto uso;
- Transferência de informações para os pólos moveleiros e outros setores industriais de base florestal, quanto às características e possibilidades de usos da madeira de eucalipto, como matéria-prima básica e estratégica para as suas atividades.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Realizar um estudo sobre a influência da variação da idade nas propriedades da madeira de *Eucalyptus grandis* e a sua adequação à indústria moveleira.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar a madeira de *Eucalyptus grandis*, sob quatro diferentes idades (10, 14, 20 e 25 anos), identificando-lhe as seguintes propriedades: massa específica, composição química, anatomia, retratibilidade volumétrica e linear, resistência mecânica, resistência natural aos cupins de madeira seca e usinabilidade;
- Avaliar o comportamento da madeira no sentido radial e, em algumas situações, ao longo do tronco;
- Analisar as possíveis correlações entre a idade e as propriedades estudadas;
- Avaliar a adequação da madeira das diferentes idades estudadas à indústria moveleira.

3 REVISÃO DE LITERATURA

O Brasil é, ao lado da África do Sul, o país que detêm as mais avançadas tecnologias na produção das florestas de rápido crescimento. Segundo COUTO (1995), o gênero *Eucalyptus* se destaca entre as espécies utilizadas, devido ao enorme potencial de suprimento de madeira para os mais variados fins. A sua participação no setor industrial de base florestal é importante e decisiva na substituição das madeiras nativas e racionalização do uso, através de produtos renováveis, como chapas, painéis e “produtos engenheirados”. A sua utilização contribui, ainda, para diminuir a dependência das reservas de materiais não renováveis, já que é uma fonte natural disponível em todo o mundo e a sua provisão, mediante uma gestão adequada, é praticamente inesgotável. Segundo HILLIS (2000), a madeira de eucalipto apresenta consideráveis vantagens sobre a madeira de coníferas, devido à melhor aparência, maior resistência e rigidez para usos estruturais, além da extrema plasticidade do gênero.

De um modo geral, a utilização da madeira de eucalipto, ainda, é um desafio, quando se trata de usos não convencionais, como a indústria moveleira e alguns setores da construção civil, como esquadrias, molduras, assoalhos e revestimentos. PONCE (1997) alertou que há uma necessidade de esforços dos pesquisadores, cada vez maior, no sentido de adequação das tecnologias de processamento às espécies já introduzidas e um criterioso estudo de seleção de espécies e melhoramento genético, visando à obtenção de material adequado às novas exigências do mercado. Segundo OLIVEIRA (1997), a madeira proveniente de reflorestamentos de rápido crescimento deve ser considerada como matéria-prima diferente daquela madeira resultante de ciclo longo. Os profissionais da área de processamento, por esse motivo, deverão aperfeiçoar os processos de conversão, no sentido de adequação dessas madeiras a um melhor desempenho.

KUCERA (1994) enfatizou que a qualidade da madeira produzida em cada fase de crescimento da árvore pode facilmente ser estudada, através da análise de suas propriedades anatômicas, físicas e químicas. Cada propriedade gera uma característica

polinomial de crescimento definida, que representa a variação da medula para a casca, onde o tempo é fator decisivo. Como principais causas de variação nas características da madeira, PULKKI (1991) destacou a diferença de idade, a qualidade genética e o nível de melhoramento da árvore, a variação entre procedências, as condições ambientais, os tratamentos silviculturais, o “site” e o controle de pragas e doenças. Segundo o mesmo autor, a qualidade da madeira depende das condições oferecidas pela floresta e suas interações com as variáveis de processamento na indústria. Em função da extrema heterogeneidade do material resultante, a maior oportunidade para melhorar as propriedades da madeira começa por um organizado programa de melhoramento e a aplicação de uma prática silvicultural adequada. O manejo da floresta, através de espaçamentos adequados, desramas e desbastes, reduz a formação de nós e inúmeros outros defeitos, bem como a proporção de madeira juvenil, através do prolongamento da rotação da idade de colheita.

DADSWELL (1960), KNIGGE e KOLTZENBURG (1965), ZOBEL e BUJTENEN (1989) afirmaram que a grande variabilidade nas características do lenho, durante o período de crescimento da árvore, acarreta variações na sua estrutura e nas suas propriedades. A natureza das células é fortemente dependente da idade real do tecido cambial e, assim, zonas distintas de madeira podem ser distinguidas dentro da árvore; assim, nas camadas mais próximas da medula, o cerne é formado pela madeira juvenil, com características muito diferentes das camadas mais próximas da casca, que formam a madeira adulta. A formação da madeira juvenil implica num ritmo de crescimento mais acentuado e resulta num material de qualidade inferior. KLOCK (2000), citando vários pesquisadores, afirmou que os estudos de qualidade da madeira devem levar em consideração as variações da idade e da posição na árvore. Tais variações implicam na existência de grandes diferenças nas propriedades da madeira, cujas causas são difíceis de serem identificadas, isoladamente, devido à multiplicidade de fatores e grande interação entre eles. Segundo HILLIS e BROWN (1978), as árvores, destinadas à produção de madeira para serraria, deverão apresentar diâmetros superiores a 30,0 cm, com fustes longos e cilíndricos, além de produzir madeira com critérios de qualidade bem definidos, em questão de uniformidade, resistência,

estabilidade e trabalhabilidade. SELLA (2001) reiterou que as rotações longas de plantações de eucalipto proporcionam maiores diâmetros das toras, beneficiando a qualidade e acarretando maiores rendimentos no desdobro, além de maior estabilidade da madeira, devido à maior quantidade de cerne, possibilitando, ainda, a obtenção de produtos de maior valor agregado, pela proporção de madeira limpa, de qualidade superior. CALORI et al. (1995) realizaram um estudo comparativo da madeira de *Eucalyptus grandis*, com idades entre onze e vinte e um anos para uso em serraria, classificando-a dentro do conceito de qualidade para movelaria; verificaram que a madeira de maior idade apresentou rendimentos significativamente superiores em madeira serrada, bem como maior qualidade após a etapa de secagem. Concluíram, ainda, que a idade considerada ideal para uso em serraria, para fins de movelaria, estava em torno de vinte anos, baseando-se nas características físico-mecânicas desejáveis da madeira e no retorno econômico do investimento florestal.

FERNANDES (1982) assegurou que o sucesso da utilização da madeira de *Eucalyptus* sp. na serraria implicará nos seguintes aspectos: uso de espécies adequadas, melhoramento genético, técnicas complementares de manejo (desbaste e desrama), idade superior a trinta anos, métodos de desdobro que permitam a obtenção de peças radiais e secagem controlada em estufa. Segundo PONCE (1997), a produção de madeira serrada de eucalipto de qualidade é possível quando passa pelos seguintes pontos: a) pesquisa de laboratório e de campo, identificando espécies e clones, com características adequadas à produção de toras; b) testes e ensaios silviculturais e de manejo, objetivando estabelecer métodos de propagação, espaçamento, cronograma de desrama, desbaste e duração da rotação; c) investigação dos melhores métodos de colheita, tratamento de toras, desdobro, secagem, usinagem, colagem e acabamento; d) desenvolvimento de produtos acabados.

Segundo MARQUES (1998), as principais características da árvore que provocam impacto direto na produtividade da unidade industrial são: a) diâmetro; b) retidão; c) circularidade; d) ausência de nós; e) ausência das tensões internas de crescimento. SANTOS (1997) assegurou que a madeira de eucalipto serrada, também, oferece potencial de uso para a confecção de móveis rústicos; nesses casos, a madeira

é utilizada na forma semi-desdobrada, associada a processos de envelhecimento e design específico, tendo garantia de mercado; segundo o mesmo autor, o setor de embalagens e pallets, embora utilize uma madeira de qualidade inferior, atualmente, é o maior consumidor de madeira serrada, no Brasil. OLIVEIRA (1999) reiterou tal afirmação e assegurou que é possível a utilização de madeira de qualquer dimensão, até mesmo a resultante do desbaste, usada na forma roliça e preservada, para a confecção de móveis rústicos, peças de play-ground e construções rurais.

A Madeira de *Eucalyptus grandis*:

Há várias décadas, o *Eucalyptus grandis* vem sendo cultivado intensivamente no Brasil, com o objetivo principal de atender às demandas do setor de celulose e papel, chapas duras e painéis aglomerados, bem como o setor de carvão vegetal para uso siderúrgico e metalúrgico. Segundo CETEMO (1998), é, sem dúvida, uma das espécies mais promissoras para a indústria moveleira, em razão de possuir a maior área plantada dentre as espécies comerciais, apresentar a maior disponibilidade imediata de florestas em idade de corte, destacar-se entre as espécies mais pesquisadas e apresentar uma madeira leve e de boa resistência. Estudos realizados com diversas espécies de eucalipto demonstraram que a madeira da espécie em questão se destacou das demais pela qualidade nos processos finais de serraria, aplainamento, tingimento, colagem e união com pregos e parafusos. Para o setor de celulose e papel, as exigências industriais sempre estiveram relacionadas a uma matéria-prima de grande produtividade, com elevados teores de celulose e baixos teores de lignina e extrativos, além de constituintes anatômicos com dimensões adequadas; quanto aos demais usos, no entanto, pouco ou nada se exigiu da matéria-prima ao longo do tempo, em relação às propriedades tecnológicas. No quadro 2, COSTA (1996) estabeleceu a comparação entre as propriedades físicas e mecânicas do *Eucalyptus grandis*, *Pinus elliottii*, mogno (*Swietenia macrophylla*), imbuia (*Ocotea porosa*) e cerejeira (*Amburana cearensis*), tornando explícitas, além da aparência, as semelhanças entre as madeiras de *Eucalyptus grandis*, *Pinus elliottii* e algumas das principais espécies nativas brasileiras.

QUADRO 1 - COMPARAÇÃO ENTRE AS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DE *Eucalyptus grandis*, *Pinus elliottii* E ALGUMAS ESPÉCIES NATIVAS BRASILEIRAS

PROPRIEDADES FÍSICAS					
PROPRIEDADES	<i>Eucalyptus grandis</i>	<i>Pinus elliottii</i>	<i>Swietenia macrophylla</i>	<i>Ocotea porosa</i>	<i>Amburana cearensis</i>
Massa específica (15% de umidade) g/cm ³	0,68	0,48	0,63	0,65	0,60
Contração radial (%)	4,8	3,4	3,2	2,7	2,9
Contração tangencial (%)	10,6	6,3	4,5	6,3	6,2
Contração volumétrica (%)	17,5	10,5	8,6	9,8	9,3
Coefficiente de retratibilidade volumétrica	0,50	0,39	0,39	0,40	0,45
PROPRIEDADES MECÂNICAS					
Compressão axial					
. Limite de resistência (kgf/ cm ²)					
. Madeira verde	342	189	396	412	384
. Madeira a 15% de umidade	490	321	547	522	434
Flexão estática					
. Limite de resistência (kgf/ cm ²)					
. Madeira verde	763	489	821	326	329
. Madeira a 15% de umidade	1000	710	924	450	483
. Módulo de elasticidade (kgf/cm ²) (madeira verde)	128.500	90.200	108.700	90.000	108.800
. Limite de proporcionalidade	286	140	325	235	271
Cisalhamento– (kgf/cm²) - madeira verde	98	59	111	98	97
Dureza Janka– (kgf/cm²) - madeira verde	485	197	504	436	339
Tração normal às fibras - (kgf/cm²) - madeira verde	64	31	61	68	54
Fendilhamento – (kgf/cm²)-madeira verde	8,1	4,2	7,1	7,8	5,8

Fonte: COSTA (1996)

Segundo TOMASELLI (2000), a opção pelo *Eucalyptus grandis* no Brasil está relacionada à excelente resposta silvicultural da espécie, como boa forma e rápido crescimento, além de propriedades desejáveis para usos múltiplos, como massa específica média, grã direita, fácil usinagem, boa aceitação de acabamento e cor levemente avermelhada. ROCHA (2000) complementa que a espécie apresenta uma boa adaptação em quase todas as regiões do Brasil, com elevado potencial silvicultural e plantios em larga escala; as suas árvores apresentam boa forma, fornecendo toras

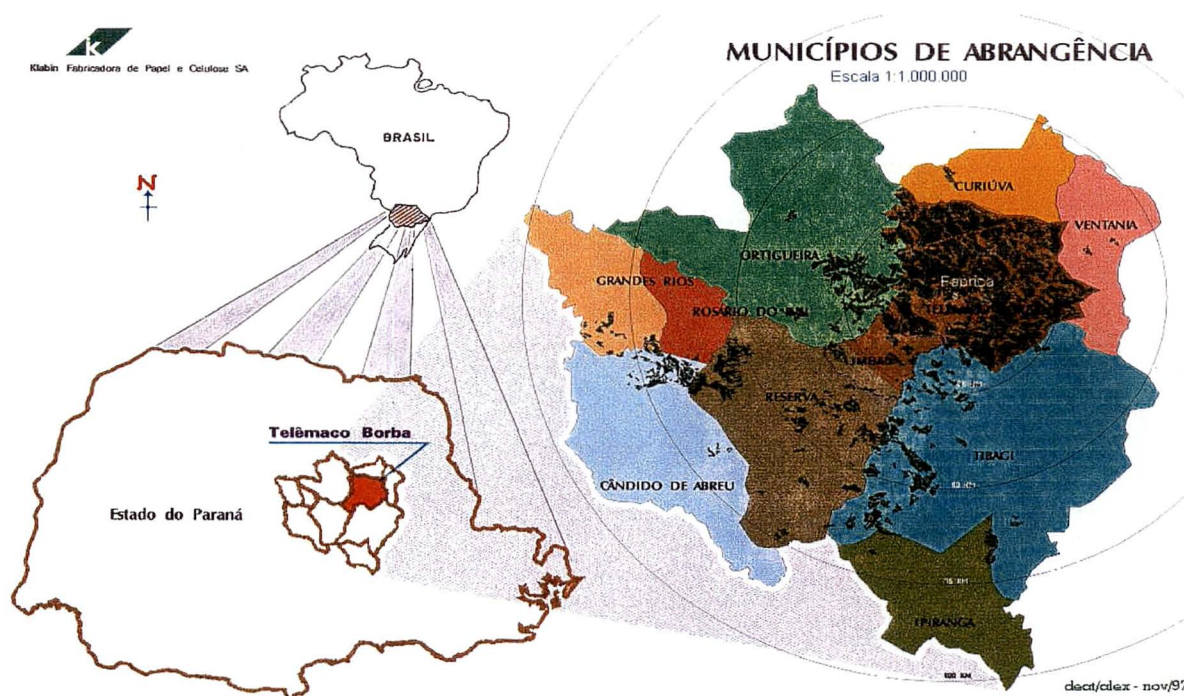
adequadas para a produção de serrados; apresenta, ainda, uma massa específica ideal para a produção de móveis e já existe um grande interesse por parte das indústrias em utilizar sua madeira, a partir de plantios manejados para múltiplos usos. Todos os protótipos já construídos com madeira de *Eucalyptus grandis* apresentaram excelentes resultados, mas, atualmente, a sua utilização intensiva gera apreensões devido à reduzida disponibilidade de madeira de qualidade no mercado, bem como a continuidade de suprimento. Em função da alta produtividade, OLIVEIRA (1977) afirmou que qualquer projeto que vise à utilização da madeira de eucalipto deve, necessariamente, incluir tal espécie. Quando proveniente de rotações muito curtas e sem as técnicas especiais de manejo silvicultural, a madeira se apresenta, inicialmente, como matéria-prima altamente desfavorável, devido às elevadas tensões de crescimento, grande presença de nós, extrema variabilidade das propriedades físicas e mecânicas, além de elevada proporção de madeira juvenil.

Segundo RIZZINI (1981), a madeira é de cor rosa forte ou vermelho-pardacento, leve e macia. Na madeira de, aproximadamente, dezesseis anos de idade, OLIVEIRA (1997) encontrou as seguintes características gerais para a espécie: alborno distinto do cerne com coloração pardo-claro, com espessura média de 1,8 cm; cerne de cor rosa-claro; brilho moderado e textura fina na madeira localizada próximo da medula, passando a média, nas demais posições em direção à periferia do tronco; na madeira jovem, a zona medular é pouco saliente e os anéis de crescimento são pouco marcantes, porém visíveis a olho nu; na madeira adulta, a medula é marcante e a zona medular tende a rachaduras; a grã varia de direita a ligeiramente inclinada, o cheiro e o gosto são imperceptíveis ou levemente tendentes a ácido tânico; as camadas de crescimento são pouco distintas, demarcadas por zonas fibrosas mais escuras e com menor frequência vascular.

4 METODOLOGIA GERAL DO TRABALHO

O material utilizado neste estudo foi obtido de plantios comerciais de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, com idades de dez, quatorze, vinte e vinte e cinco anos, procedentes da Fazenda Monte Alegre, da KLABIN Fabricadora de Papel e Celulose S. A., localizada no município de Telêmaco Borba, no Estado do Paraná. A figura 1 apresenta a localização geográfica da empresa.

FIGURA 1 - LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DA EMPRESA



4.1 DESCRIÇÃO DO LOCAL

Os plantios estão localizados em altitudes variando de 700 a 900 metros, com latitude de 24° 15' S e longitude de 50° 39' W. Segundo a classificação de Köppen, o clima é do tipo Cfa/Cfb, predominantemente subtropical úmido transicional para o temperado propriamente dito, com verões quentes e invernos bastante frios, com ocorrência esporádica de geadas. A temperatura máxima média varia de 29 a 32°C e a mínima média varia entre 5 e 6°C. O período de chuvas se estende de outubro a março,

com períodos curtos de seca durante o ano. A precipitação pluviométrica varia de 1.300 a 1.510 mm anuais, predominantemente no verão. As características edáficas da região e o material genético utilizado estão apresentados na tabela 1.

TABELA 1 - CARACTERÍSTICAS DO MATERIAL GENÉTICO E CONDIÇÕES EDÁFICAS E DE RELEVO DO LOCAL DOS PLANTIOS

IDADE	TALHÃO	TIPO DE SOLO	PROCEDÊNCIA
10	COLÔNIA 070B	Latossolo vermelho-escuro, textura muito argilosa, “A” moderado, ácrico epidistrófico, fase campo, relevo suave ondulado e ondulado.	Mudas por sementes, pomar clonal, procedência Telêmaco Borba (KLABIN) e origem Coff’s Harbour
14	MORTANDADE 004A	Latossolo vermelho-escuro, textura argilosa a muito argilosa, “Ä” moderado, álico, fase floresta, relevo suave ondulado e ondulado	Mudas por sementes, pomar clonal, procedência Telêmaco Borba (KLABIN) e origem Coff’s Harbour
20	INVERNADINHA 191	Latossolo vermelho-escuro, textura argilosa, “Ä” moderado, ácrico, fase floresta, relevo suave ondulado e ondulado	Mudas por sementes e procedência África do Sul
25	PINHAL BONITO 195	Podzólico vermelho-amarelo, textura argilosa, “Ä” moderado, distrófico, epi-eutrófico, fase floresta, relevo ondulado	Mudas por sementes e procedência APS Mogi-Guaçu

4.2 PROCEDIMENTOS SILVICULTURAIS

Os procedimentos silviculturais utilizados nas diversas fases da cultura fazem parte das técnicas rotineiramente implementadas na empresa nos seus plantios comerciais. Por certo, a diversidade dos espaçamentos iniciais e dos procedimentos silviculturais (desbastes e desramas), adotados nas florestas de diferentes idades, implicará na obtenção de madeira com propriedades bem distintas, confirmadas nos diferentes ensaios deste trabalho. Tais procedimentos estão sumarizados na tabela 2.

TABELA 2 - PROCEDIMENTOS SILVICULTURAIS E RESULTADOS DENDROMÉTRICOS DOS PLANTIOS

Idade (anos)	Espaçamento inicial (m)	Número desbastes	Número desramas	DAP médio (m)	Altura comercial (m)	Altura total (m)	IMA (m ³ /ha/ano)
10	2,50 x 2,50	2	2	0,34	31,7	35,1	45,1
14	3,00 x 2,00	2	1	0,42	40,5	44,0	41,8
20	2,50 x 1,70	1	-	0,44	44,0	50,1	45,1
25	2,50 x 1,70	3	-	0,52	48,0	53,0	45,1

Verifica-se que o número de desbastes e desramas variou bastante entre as diferentes idades. À exceção da madeira de quatorze anos, que apresentou um incremento inferior, todas as outras idades apresentaram o IMA (incremento médio anual) igual a 45,1 m³/ha/ano. Tal variação no incremento se deve à diferente base genética e diferentes condições locais de crescimento.

4.3 DERRUBADA DAS ÁRVORES E DESDOBRO DAS TORAS

Embora considerados importantes, não foram realizadas avaliações, nem mencionados detalhes operacionais, nas etapas de derrubada das árvores e de processamento da madeira, que compreende as fases de desdobro e secagem. Tais avaliações e detalhes fugiam dos objetivos estabelecidos no presente trabalho. Durante a derrubada, verificaram-se rachaduras de topo ao longo da seção transversal de algumas árvores, em decorrência da liberação das tensões de crescimento; em certas situações, as rachaduras radiais e longitudinais apareceram nas seções transversais das toras, conforme pode ser observado na figura 3.

FIGURA 2 - VISTA GERAL DAS TORAS DE *Eucalyptus grandis* DE DIFERENTES IDADES NA FASE DE TRANSPORTE PARA DESDOBRO

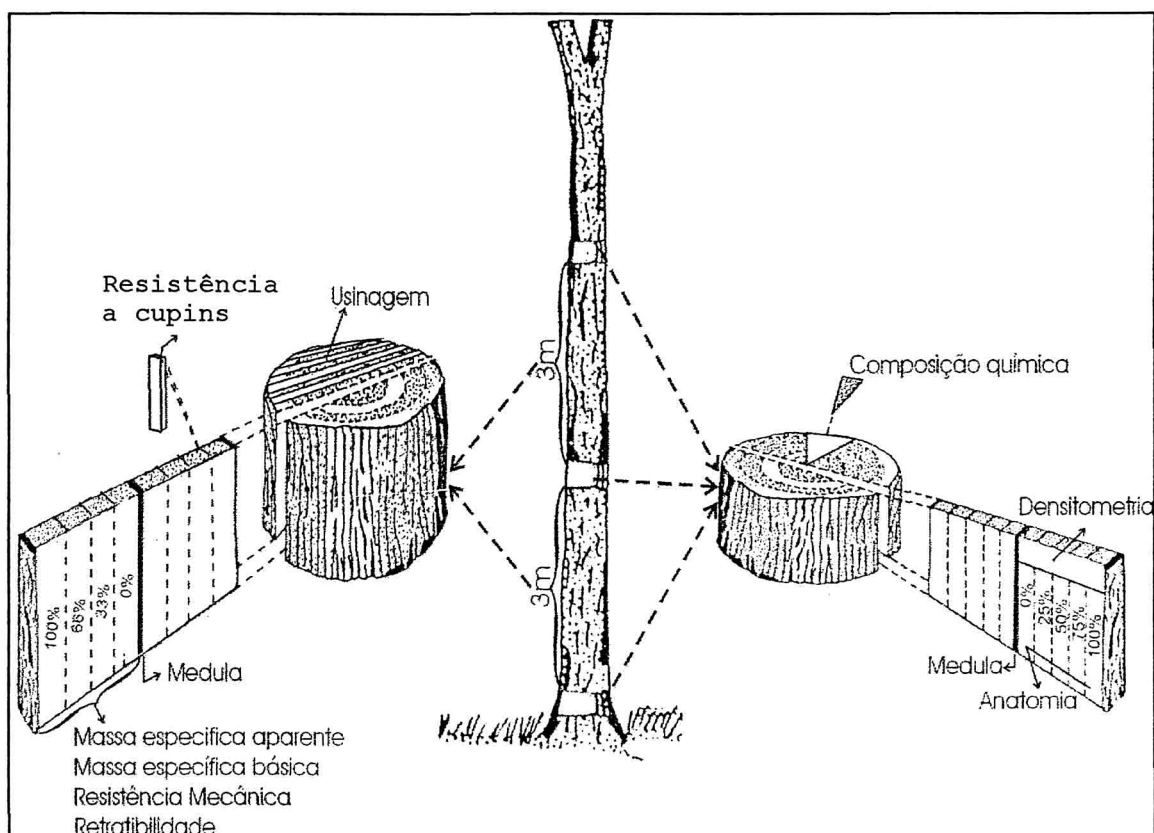


Após a sua identificação, as toras foram transportadas para o pátio da serraria da Madeireira CASCOL, localizada no distrito industrial de Telêmaco Borba e, num intervalo máximo de vinte e quatro horas, foram desdobradas em engenho de serra de fita simples, utilizando-se cortes tangenciais paralelos. As tábuas e pranchões, com dimensões de 3 e 5 cm de espessura, respectivamente, foram, também, identificadas individualmente. Apenas a tábua retirada no centro de cada tora foi prontamente preparada para futura utilização na confecção de corpos de prova para diversos ensaios. No sistema de desdobro adotado, verificou-se que todas as tábuas da seção diametral, independentemente da idade, apresentaram rachaduras ao longo de toda a peça, na região da medula. As demais peças foram empilhadas no pátio e colocadas para secagem natural, durante certo período; após essa fase de pré-secagem, as tábuas e pranchões foram colocados em estufas industriais.

4.4 AMOSTRAGEM DO MATERIAL

Utilizaram-se dezesseis árvores, correspondentes a quatro árvores por idade e, de cada árvore, aproveitaram-se a primeira e segunda toras, ambas com o comprimento comercial de três metros. Como o material proveio de plantios comerciais, cada talhão, correspondente a uma idade distinta, apresentou características próprias, com material genético, condições de “site” e procedimentos silviculturais bem peculiares, conforme as informações apresentadas nas tabelas 1 e 2. Dentro do possível, buscou-se a maior homogeneidade do material amostrado, em termos de diâmetro, altura, vigor e ausência de defeitos (excessiva conicidade, bifurcação e rachaduras no tronco). A amostragem constou de materiais retirados de várias partes do tronco, envolvendo discos e seções longitudinais, conforme o esquema representado na figura 3.

FIGURA 3 - ESQUEMA DE RETIRADA DAS AMOSTRAS AO LONGO DO TRONCO (ADAPTADO DE TOMAZELLO FILHO (1985 B)



Após a derrubada das árvores de cada talhão, as toras e os discos foram imediatamente identificados, anotando-lhes as dimensões. De cada árvore, retiraram-se três discos com 5 cm de espessura, sendo um da base e os demais, do final de cada tora, correspondendo a 0, 3 e 6 metros da seção longitudinal. Dos discos, retiraram-se amostras para os ensaios de composição química, anatomia e densitometria de raios-X; as toras foram levadas para a serraria e, da seção diametral de cada tora, retiraram-se amostras para os ensaios de massa específica, retratibilidade, resistência mecânica e resistência natural ao ataque de cupins de madeira seca; das peças restantes das toras retiraram-se amostras para os testes de usinagem. Os testes e as respectivas normas utilizadas no presente estudo estão sumarizados na tabela 3.

TABELA 3 - ENSAIOS E NORMAS UTILIZADOS NA CARACTERIZAÇÃO DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis* DE DIFERENTES IDADES

ENSAIO	SEÇÃO DE ORIGEM DA ÁRVORE	NORMA UTILIZADA
Massa específica básica	Prancha diametral	ABNT MB-26/40 (1940)
Retratibilidade	Prancha diametral	ASTM D143-93 (1995)
Resistência mecânica	Prancha diametral	COPANT, 1974
Resistência a cupins	Prancha diametral	IPT, 1980
Extrativos totais	Discos	TAPPI T 624 om-82
Lignina insolúvel	Discos	TAPPI T 222 om-83
Lignina solúvel	Discos	GOLDSHIMID, 1971
Anatomia	Discos	COPANT, 1994
Densitometria de raios-X	Discos	AMARAL, 1994
Usinagem da madeira	Tábuas tangenciais	ASTM D 1666 – 64

4.5 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Para as propriedades físicas e mecânicas, procedeu-se à análise estatística, através da análise de variância e do teste de médias (Tukey), considerando-se os efeitos da variação da idade e da posição radial no sentido medula-casca, bem como a interação entre os efeitos, idade x posição; para as propriedades químicas, consideraram-se os efeitos de variação da idade e da variação ao longo do tronco, além da interação de seus efeitos. Para os testes de usinagem e durabilidade natural ao ataque de cupim de madeira seca, analisaram-se, apenas, os efeitos da variação da

idade; em ambas as situações, utilizou-se a análise de variância não-paramétrica de Kruskal-Wallis e a comparação entre as médias envolveu o teste não-paramétrico de Mann-Whitney. Realizaram-se, também, estudos de correlações de Pearson entre as variações da idade e as propriedades estudadas.

4.6 RESULTADOS DENDROMÉTRICOS

Os principais dados relativos ao volume e à produção de cerne e alburno estão sumarizados na tabela 4.

TABELA 4 - PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DA MADEIRA DE DIFERENTES IDADES DE *Eucalyptus grandis*

IDADE (anos)	TORA	VOLUME MÉDIO (m ³)	CERNE (%)	ALBURNO (%)	CERNE/ ALBURNO
10	1	0,246	72,77	27,23	2,67
	2	0,200	72,08	28,24	2,55
14	1	0,372	68,71	31,30	2,19
	2	0,319	68,34	31,66	2,16
20	1	0,440	72,43	27,57	2,83
	2	0,383	71,72	28,28	2,53
25	1	0,599	78,17	21,83	3,58
	2	0,495	75,90	24,10	3,15

Pelos dados da tabela 4, verificou-se que o volume médio das toras de vinte e cinco anos foi 145, 58 e 33% superior ao volume das toras de dez, quatorze e vinte anos, respectivamente. Para o uso futuro em movelaria, as rotações longas de plantações de eucalipto, segundo SELLA (2001), beneficiam a qualidade, proporcionando maiores diâmetros das toras, acarretando maiores rendimentos no desdobro, maior estabilidade da madeira devido à maior quantidade de cerne e possibilita a obtenção de produtos de maior valor, pela proporção de madeira limpa, de qualidade superior. As madeiras de dez e quatorze anos, para esse propósito, além de apresentarem menores rendimentos na fase de processamento, resultaram numa menor quantidade de cerne, redundando num material de qualidade inferior. Como era de se esperar, em todas as idades, o volume médio das toras 1, correspondente às toras da base, foi superior ao volume médio da tora 2, correspondente à segunda tora, ambas

com o comprimento comercial de três metros. A madeira de vinte e cinco anos, em relação às madeiras das demais idades, apresentou a maior porcentagem média de cerne, equivalente a $\frac{3}{4}$ do volume da parte lenhosa do tronco. A espessura do alburno variou de 2,5 a 3,5 cm, em todas as idades, na primeira e segunda toras; verificou-se, ainda, que a madeira de quatorze anos apresentou a maior porcentagem média de alburno, em relação às madeiras das demais idades, equivalente a 30% do volume da parte lenhosa do tronco. Do ponto de vista tecnológico, a quantificação da relação cerne/alburno passa a ser mais importante que a espessura do alburno. A madeira de cerne, pela sua coloração e propriedades desejáveis, apresenta um maior valor e tem sido o alvo de interesse dos usuários de madeira. A tora 1 apresentou uma maior relação cerne/alburno, independente da idade. A maior diferença observada aconteceu para a idade de vinte e cinco anos, em função da idade mais avançada e do conseqüente processo mais adiantado de “cernificação”. Nas árvores de dez e quatorze anos, o cerne apresentou uma coloração rosa-claro, bem distinto da coloração do cerne das árvores de vinte e vinte e cinco anos, com um rosa mais escuro, tendendo quase a um avermelhado. A porção referente ao alburno, de coloração mais clara e pouco atrativa, tem sido preterida pelos consumidores de madeira da área de movelaria, principalmente para usos aparentes. No presente estudo, verificou-se que o alburno apresentava uma coloração creme ou bege, bastante distinto do cerne, com uma coloração rosada. Na madeira de dez anos, os anéis de crescimento eram pouco marcantes, sem muita definição, porém visíveis a olho nu; a textura era bem uniforme e homogênea, com grã reta; a zona medular era pouco saliente; na madeira de vinte e vinte e cinco anos, ao contrário, observaram-se anéis mais ou menos definidos e uma leve e moderada grã revessa, brilho moderado e textura fina próximo da medula, passando a média, nas demais posições em direção à casca. A medula era marcante e a zona medular tendia a rachaduras na madeira adulta; o cheiro e gosto das madeiras de todas as idades eram imperceptíveis ou levemente tendentes a ácido tânico. Em todas as idades, a madeira foi considerada macia ao corte.

5 MASSA ESPECÍFICA

A massa específica da madeira é o resultado de uma complexa combinação dos seus constituintes internos. É uma propriedade muito importante e fornece inúmeras informações sobre as características da madeira, devido a sua íntima relação com várias outras propriedades, tornando-se um parâmetro muito utilizado para qualificar a madeira, nos diversos segmentos da atividade industrial.

Segundo PANSIN e DE ZEEUW (1980), a massa específica pode variar entre gêneros, espécies do mesmo gênero, árvores da mesma espécie e, até mesmo, entre diferentes partes da mesma árvore. HILLIS e BROWN (1978) afirmaram que podem ocorrer variações extremas de tal propriedade entre árvores da mesma espécie, citando, como exemplo, a madeira de *Eucalyptus pilularis*, na Austrália, com variações de 0,59 até 0,81 g/cm³. HILLIS (2000) afirmou que tais limites para o gênero *Eucalyptus* ficam entre 0,60 e 0,90 g/cm³, para as madeiras maduras, e entre 0,40 e 0,80 g/cm³ para as madeiras mais jovens. Segundo KOLLMANN e CÔTÉ (1968), as variações da massa específica se devem às diferenças na estrutura anatômica da madeira e na quantidade de substâncias extrativas presentes por unidade de volume, em função, principalmente, da idade da árvore, genótipo, índice de sítio, clima, localização geográfica e tratamentos silviculturais. A estrutura da madeira a que se referem os autores está relacionada à espessura da parede celular e ao tamanho e à quantidade proporcional de diferentes tipos de células (fibras, traqueídeos, vasos, dutos de resina e parênquima). Nas madeiras da mesma espécie, as variações são decorrentes, principalmente, de alterações nos componentes estruturais e químicos. VITAL (1984) afirmou que os efeitos, em geral, são interativos e difíceis de serem avaliados isoladamente e não se consegue modificar uma propriedade sem que as demais sejam alteradas. Segundo TSOUMIS (1991), a massa específica é uma medida da quantidade de material na parede celular, presente em certo volume e é, também, uma indicadora do volume de espaços vazios na madeira.

CHIMELO (1980), GÉRARD et al. (1995) afirmaram que, quase sempre, a massa específica se apresenta correlacionada com a retratibilidade, secagem,

trabalhabilidade, impregnabilidade, durabilidade natural e várias propriedades mecânicas. ENGLERT (1966) reiterou que a qualidade da madeira sólida é quase sinônimo de sua massa específica, mas ressalta que tal propriedade não deve ser considerada como único parâmetro de decisão para um determinado uso. OLIVEIRA et al. (1990), LIMA et al. (2000) asseguraram que a massa específica é uma boa indicadora de qualidade da madeira, em função das várias correlações com outras propriedades; entretanto, ela não indica, de forma direta e conclusiva, valores das propriedades mecânicas, dimensões de fibras, poder calorífico, composição química ou existência de defeitos internos. Assim, a massa específica, quando analisada de forma isolada, não representa um bom e seguro parâmetro para uma definição de usos.

Devido à natureza orgânica, heterogênea, porosa e higroscópica da madeira, KOLLMANN e CÔTÉ (1968) afirmaram que a massa específica é fortemente influenciada pelo teor de umidade. A massa específica básica considera a relação entre a massa da madeira absolutamente seca e o volume verde ou saturado da peça. A massa específica aparente, por sua vez, sempre relaciona massa e volume a um determinado teor de umidade, normalmente a 0, 15 e, com mais frequência, a 12% de umidade.

FERREIRA e KAGEYAMA (1978) verificaram um aumento proporcional da massa específica em função da idade, em várias espécies de *Eucalyptus*. Segundo PANSIN e DE ZEEUW (1980), HAYGREEN e BOWYER (1982), LIMA et al., (2000), a massa específica cresce muito rapidamente na primeira fase de crescimento, mais lentamente, numa fase intermediária da idade, até se tornar mais ou menos constante, na fase da maturidade da árvore. HILLIS e BROWN (1978), ao estudarem a madeira de *Eucalyptus grandis*, localizada na base das árvores e formada entre dezesseis e vinte anos, verificaram um acréscimo da massa específica de 25%, quando comparada à madeira que se formou no período entre um e cinco anos. Os mesmos autores encontraram uma diferença de 40% nos valores da massa específica básica da madeira de *Eucalyptus pilularis*, quando a sua idade variou de um para trinta anos. BHAT et al. (1988) verificaram que a massa específica aumentou proporcionalmente com a idade ao estudarem a madeira de *Eucalyptus grandis*, de diferentes idades; os

mesmos autores concluíram que as variações se prendiam a três fatores básicos: idade, ambiente e genótipo. Segundo TOMAZELLO FILHO (1985b), as variações da massa específica nos sentidos longitudinal/radial do tronco estão relacionadas com a idade da árvore, amostragem, genótipo e condições ambientais de crescimento. Variações no sentido base-topo têm sido constatadas em várias situações, porém, sem obedecer a um padrão bem definido; no sentido transversal, no entanto, uma tendência bem definida de aumento no sentido medula-casca tem sido observada e foi confirmada pelos resultados obtidos por FONSECA (1971), TOMAZELLO FILHO, (1985a), TOMAZELLO FILHO (1985b), REZENDE e FERRAZ (1985), CARMO (1996), LIMA (1995), LIMA, BREESE E CAHALAN (2000). Utilizando madeira de vinte e dois anos, LIMA (1995) verificou que a massa específica aumentou, significativamente, da medula para o cerne periférico, ocorrendo pequeno decréscimo na região do alburno. NAHUIZ et al. (1980) verificaram um acréscimo acentuado da massa específica básica, nos anéis iniciais da madeira de *Eucalyptus saligna*, com cinco anos de idade, com uma posterior estabilização na região próxima à casca. FOELKEL et al. (1975), estudando a madeira de *Eucalyptus saligna*, com nove anos de idade, verificaram um maior valor de massa específica básica do cerne quando comparado ao alburno, em função da maior quantidade de substâncias extrativas. DELLA LUCIA e VITAL (1983), estudando a madeira de *Eucalyptus saligna*, com quarenta anos de idade, verificaram que a madeira próxima à medula e ao alburno apresentaram, respectivamente, valores de massa específica 30 e 10% inferiores ao cerne, pelo seu maior teor de extrativos. BENDTSEN e SENFT (1986) afirmaram que a massa específica pode ser explicada pelas diferenças anatômicas, devido às mudanças que ocorrem na madeira juvenil/adulta, que são mais acentuadas nas coníferas que nas folhosas. A mudança no comprimento de fibras em folhosas é de, aproximadamente, o dobro, com alteração de 28 para 10° no ângulo fibrilar, enquanto que, nas coníferas, a alteração no comprimento corresponde ao seu triplo ou quádruplo, com alteração de 55 para 20° no ângulo fibrilar. Os mesmos autores verificaram que o ângulo fibrilar é maior na região da medula ou próximo dela e diminui, rapidamente, em direção à casca, ocorrendo, paralelamente, um aumento

rápido no diâmetro dos vasos; nessa região, as fibras são mais curtas, apresentam menores diâmetros e, geralmente, paredes são mais finas. ZOBEL e JETT (1995) sugeriram que, nas pesquisas de melhoramento e genética florestal, o delineamento da seleção de matrizes leve em consideração apenas as propriedades da madeira adulta, pois o valor genético da madeira juvenil é de reduzida importância.

A técnica de densitometria de raios-X é das mais avançadas para medir as variações de massa específica a pequenas distâncias, o que, segundo OLIVEIRA (1997), é impossível pelo método gravimétrico convencional. A técnica para o estudo de madeira foi implantada no Brasil por AMARAL (1994) e tem sido apontada como um poderoso instrumento de avaliação mais detalhada para estudar os efeitos dos tratamentos silviculturais na qualidade da madeira, bem como para explicar outros resultados ligados à caracterização tecnológica da madeira. Segundo a autora, o perfil densitométrico apresenta uma análise da variação da massa específica aparente no sentido radial a intervalos de 10 micrômetros. Desnecessário comentar as inúmeras vantagens de sua determinação, em relação aos métodos tradicionais, em função das incontáveis informações prestadas, podendo ser de extrema utilidade nos programas de planejamento florestal, bem como as possibilidades de qualificação da matéria-prima ao produto final pretendido.

5.1 MATERIAL E MÉTODOS

Para o ensaio de massa específica básica, utilizaram-se as duas primeiras toras de cada uma das dezesseis árvores (quatro para cada idade) e, da tábua diametral, tomaram-se quatro posições eqüidistantes (0, 33, 66 e 100%), no sentido medula-casca, com seis repetições por posição, totalizando 768 amostras. As amostras, de formato retangular, apresentaram dimensões de 1,0 x 2,0 x 3,0 cm, sendo a última medida no sentido longitudinal. Pesaram-se as amostras em estado verde e absolutamente seco em estufa e lhes foram tomadas as medidas lineares, com o auxílio de um paquímetro digital, com precisão de 0,01mm.

Para o ensaio de massa específica aparente, retiraram-se oito corpos de prova de cada peça, oriundos da prancha diametral, com dimensões nominais de 2,0 x 2,0 x

30,0 cm, sendo a última dimensão no sentido longitudinal, provenientes de quatro posições equidistantes da seção radial, correspondendo a 0, 33, 66 e 100% da direção medula-casca. Após a confecção dos corpos de prova, as peças foram acondicionadas na câmara climática, até atingirem peso constante, a um teor de umidade de 12%. Pesaram-se as amostras e lhes foram tomadas as medidas lineares, com o auxílio de um paquímetro digital.

Para o estudo de densitometria de raios X, utilizaram-se três discos, retirados da base e do final da primeira e segunda toras de cada árvore. Os discos de madeira passaram pelo processo de secagem natural até atingir a umidade de equilíbrio. A seguir, retiraram-se amostras radiais da madeira, com dimensões de 1,0 x 1,0 cm. Com um equipamento de dupla serra, retiraram-se amostras de espessura de 1,2 mm, sendo, posteriormente, radiografadas em equipamento de raios X da marca HEWLETT PACKARD, modelo FAXITRON 4385N, utilizando-se o filme radiográfico Diagnostic Film X-OMAT XK1, 24 x 18cm. As radiografias das madeiras foram analisadas em microdensitômetro Joice Loebel MKIII -C, que registrou as variações de densidade ótica ao longo das amostras de madeira, no sentido medula-casca. Através de um sistema computacional, os valores foram transformados em massa específica da madeira e apresentados em gráficos.

5.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.2.1 Massa específica básica

Os valores médios de massa específica básica e variações quanto à idade e ao sentido radial estão apresentados na tabela 5.

Até a idade de vinte anos, a massa específica básica apresentou valores crescentes com a idade e, a partir daí, observou-se uma ligeira queda para a madeira de vinte e cinco anos. A média geral foi de $0,41 \text{ g/cm}^3$ e os limites individuais inferior e superior foram, respectivamente, de $0,31 \text{ g/cm}^3$ (idade de dez anos, na região próxima da medula) e $0,59 \text{ g/cm}^3$ (idade de vinte anos, na região próxima da casca), apresentando uma variação de mais de 90%.

TABELA 5 - VALORES MÉDIOS DE MASSA ESPECÍFICA BÁSICA (g/cm^3) DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis*, DE DIFERENTES IDADES E POSIÇÕES NO SENTIDO MEDULA-CASCA (M-C)

TRATAMENTO	N	MÉDIAS	TUKEY	CV (%)	DP (g/cm^3)
Idade 10 anos	192	0,34	a ^{1/}	9,46	0,032
Idade 14 anos	192	0,41	b	11,04	0,045
Idade 25 anos	192	0,42	c	15,89	0,066
Idade 20 anos	192	0,47	d	16,96	0,080
Posição 0% (M-C)	192	0,37	a	12,49	0,047
Posição 33% (M-C)	192	0,37	a	11,80	0,044
Posição 66% (M-C)	192	0,42	b	14,81	0,062
Posição 100% (M-C)	192	0,47	c	18,30	0,087
Interação idade X posição					
10 anos x posição 0%	48	0,32	a	6,46	0,021
10 anos x posição 33%	48	0,32	a	6,84	0,021
14 anos x posição 0%	48	0,35	ab	11,14	0,044
25 anos x posição 0%	48	0,36	ab	8,42	0,032
14 anos x posição 33%	48	0,37	ab	4,75	0,018
25 anos x posição 33%	48	0,38	bc	5,19	0,019
10 anos x posição 66%	48	0,38	bc	7,48	0,026
20 anos x posição 0%	48	0,39	bc	10,46	0,042
10 anos x posição 100%	48	0,40	bc	7,40	0,027
20 anos x posição 33%	48	0,42	cd	5,89	0,025
25 anos x posição 66%	48	0,43	de	7,32	0,031
14 anos x posição 66%	48	0,43	de	7,10	0,031
14 anos x posição 100%	48	0,44	e	7,10	0,031
20 anos x posição 66%	48	0,49	e	7,24	0,036
25 anos x posição 100%	48	0,52	e	7,45	0,038
20 anos x posição 100%	48	0,58	f	8,52	0,049
MÉDIA GERAL			0,41		

^{1/} Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente, pelo teste de Tukey, com significância de 5% ($p < 0,05$).

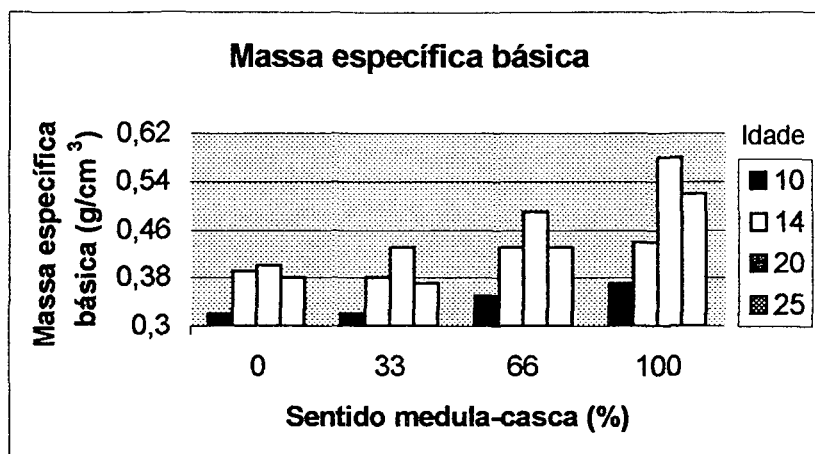
Considerando-se os valores apresentados na tabela 5, verificou-se a maior variação (20,6%) entre as madeiras de dez e quatorze anos, seguida da variação de 11,9% entre as madeiras de vinte e vinte e cinco anos; praticamente, não houve variações entre as madeiras de quatorze e vinte e cinco anos. Conforme amplamente documentado pela literatura, a massa específica básica da madeira de árvores mais jovens tendeu a apresentar valores mais reduzidos que os encontrados nas madeiras mais maduras, em função da maior quantidade de madeira juvenil. A madeira de dez anos, independentemente da posição radial, apresentou valores inferiores à média geral e às médias de outras idades, devido à grande quantidade de madeira juvenil em toda a

seção. Diversos autores, como TOMAZELLO FILHO (1985b), VITAL et al. (1987), RIBEIRO e ZANI FILHO (1993), OLIVEIRA (1996), CRUZ (2000) confirmaram em seus trabalhos um aumento sistemático da massa específica básica da madeira com a idade, havendo uma tendência de estabilização, após certa idade da árvore. Os maiores valores encontrados nas madeiras maduras se devem, em grande parte, à constituição anatômica e composição química, que serão discutidas posteriormente. Pelos resultados apresentados, verificou-se que a madeira de vinte anos já se mostrava estável. Os valores mais reduzidos para a madeira de vinte e cinco anos, quando comparados aos da madeira de vinte anos, devem estar relacionados às diferentes condições locais (tabelas 1 e 2), tratos silviculturais e material genético. Através da análise de variância, detectou-se que a idade e a posição radial afetaram significativamente os valores da massa específica básica para o estudo em questão; em menor intensidade, a interação desses efeitos, também, afetou os valores da massa específica básica, conforme pode ser comprovado no anexo 1. Estatisticamente, observou-se uma diferença entre todas as idades, com significância de 5%. Os valores médios apresentados para a madeira de quatorze e vinte e cinco anos mostraram-se muito próximos, mas, estatisticamente, apresentaram diferenças entre si.

Em todas as amostras analisadas, observou-se uma tendência crescente da massa específica no sentido medula-casca, confirmando os resultados obtidos por vários pesquisadores, como WILKES (1984), TOMAZELLO FILHO (1985b), REZENDE e FERRAZ (1985) SHIMOYAMA e BARRICHELO (1991), LIMA (1995), CARMO (1996), OLIVEIRA (1996), LIMA, BREESE E CAHALAN (2000). A figura 4 apresenta melhor esta tendência.

Verifica-se que os menores valores foram aqueles pertencentes às regiões mais próximas da medula e de idade mais reduzida, como consequência da presença de madeira juvenil. Os valores encontrados em todas as posições da idade de dez anos foram inferiores à média geral, revelando uma grande porção de madeira juvenil, em toda a extensão radial. Estatisticamente, não se observaram diferenças entre as posições de 0 e 33%, mas tais diferenças foram observadas entre as demais posições, com significância de 5%.

FIGURA 4 - VARIAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA (g/cm^3) DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis* DE DIFERENTES IDADES E POSIÇÕES NO SENTIDO MEDULA-CASCA



Verificou-se que a maior variação (13,5%) dos valores em relação à posição radial estava entre as posições de 33 e 66%, seguida da variação de 11,9% entre as posições de 66 e 100% e, praticamente, não houve variações entre as posições de 0 e 33%. Nas idades de dez e quatorze anos, verificou-se que a maior variação no sentido medula-casca ocorreu entre as posições de 33 e 66%, denotando a influência do cerne periférico, região limite entre o cerne e o alburno; nas demais idades, a variação maior ocorreu entre as posições de 66 e 100%. Os valores médios encontrados nas posições de 0 e 33% nas idades de quatorze e vinte e cinco anos foram inferiores à média geral e não diferiram estatisticamente entre si. Os valores médios de quase todas as posições da idade de vinte anos foram superiores à média geral, denotando uma grande quantidade de madeira adulta e pouca quantidade de madeira juvenil. Observou-se um aumento dos valores de coeficiente de variação com a idade e com a variação radial, no sentido medula-casca, reflexo de uma maior quantidade e diversidade de material. Tais valores foram relativamente baixos, evidenciando uma certa homogeneidade entre as amostras utilizadas, situando-se entre os valores normalmente encontrados na literatura.

5.2.2 Massa específica aparente

Os valores de massa específica aparente apresentados no presente trabalho apontam a mesma tendência e a mesma magnitude de variação apresentados para a massa específica básica, discutida, anteriormente, no item 5.2.1. Os dados apresentados na tabela 6 evidenciam um aumento na massa específica aparente em função da idade e, principalmente, da direção radial, no sentido medula-casca. Os valores médios de massa específica aparente e suas variações quanto à idade e ao sentido radial estão apresentados na tabela 6.

Os valores encontrados para a massa específica aparente estão em conformidade com os normalmente encontrados na literatura (DELLA LUCIA e VITAL, 1983; CARVALHO, 1997; ACOSTA, 1998; LIMA, BREESE E CAHALAN, 2000; ASHLEY e OZARSKA, 2000; ROCHA, 2000). O valor médio para a massa específica aparente foi de $0,54 \text{ g/cm}^3$, sendo os limites individuais inferior e superior, respectivamente, de $0,40 \text{ g/cm}^3$ (idade de dez anos na posição mais próxima da medula) e $0,75 \text{ g/cm}^3$ (idade de vinte anos na posição mais próxima da casca), apresentando uma variação de mais de 87,5%. Os maiores valores encontrados nas madeiras maduras se devem, em grande parte, à influência da composição química e anatômica, que serão discutidas posteriormente. Considerando-se os valores apresentados na tabela 6, verificou-se a maior variação (19,56%) entre as madeiras de dez e quatorze anos, seguida da variação de 9,09% entre as madeiras de vinte e vinte e cinco anos; praticamente, não houve variações entre as madeiras de quatorze e vinte e cinco anos. Os dados apresentados pela análise de variância (anexo 2) confirmaram a influência da idade e, principalmente, da posição radial no sentido medula-casca; a influência da interação desses efeitos, também, foi verificada, embora em menor intensidade.

Estatisticamente, observaram-se diferenças significativas entre os valores médios de todas as posições no sentido radial; situação semelhante foi observada para as idades, à exceção das idades de quatorze e vinte e cinco anos, que não apresentaram diferenças estatísticas entre si.

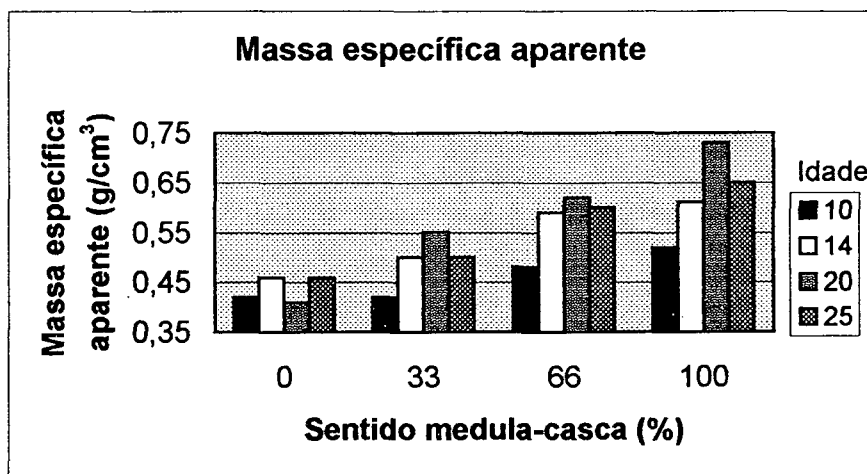
TABELA 6 - VALORES MÉDIOS DE MASSA ESPECÍFICA APARENTE (g/cm³)
DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis*, DE DIFERENTES IDADES E
POSIÇÕES NO SENTIDO MEDULA-CASCA (M-C)

TRATAMENTO	N	MÉDIAS	TUKEY	CV (%)	DP (g/cm ³)
Idade 10 anos	128	0,46	a ^{IV}	12,39	0,057
Idade 14 anos	128	0,55	b	11,27	0,062
Idade 25 anos	128	0,55	b	12,36	0,068
Idade 20 anos	128	0,60	c	13,66	0,079
Posição 0% (M-C)	128	0,47	a	12,55	0,059
Posição 33% (M-C)	128	0,50	b	13,60	0,068
Posição 66% (M-C)	128	0,57	c	13,33	0,076
Posição 100% (M-C)	128	0,62	d	14,03	0,087
Interação idade X posição					
10 anos x posição 0%	32	0,42	a	13,463	0,062
10 anos x posição 33%	32	0,43	a	13,180	0,057
14 anos x posição 0%	32	0,46	ab	12,275	0,085
25 anos x posição 0%	32	0,47	ab	12,049	0,062
10 anos x posição 66%	32	0,48	ab	11,766	0,057
25 anos x posição 33%	32	0,50	bc	11,314	0,057
20 anos x posição 0%	32	0,51	bc	11,314	0,085
14 anos x posição 33%	32	0,51	bc	11,087	0,057
10 anos x posição 100%	32	0,52	bc	10,861	0,057
20 anos x posição 33%	32	0,55	cd	10,126	0,057
14 anos x posição 66%	32	0,58	de	9,730	0,057
25 anos x posição 66%	32	0,60	de	9,447	0,079
14 anos x posição 100%	32	0,61	e	9,277	0,057
20 anos x posição 66%	32	0,62	e	9,108	0,057
25 anos x posição 100%	32	0,65	e	8,712	0,079
20 anos x posição 100%	32	0,73	f	7,750	0,057
MÉDIA GERAL			0,54		

^{IV} Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, com significância de 5% (p<0,05).

A variação da massa específica aparente pode ser melhor visualizada através da figura 5.

FIGURA 5 - VARIAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA APARENTE (g/cm^3) DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis* DE DIFERENTES IDADES E POSIÇÕES NO SENTIDO MEDULA-CASCA



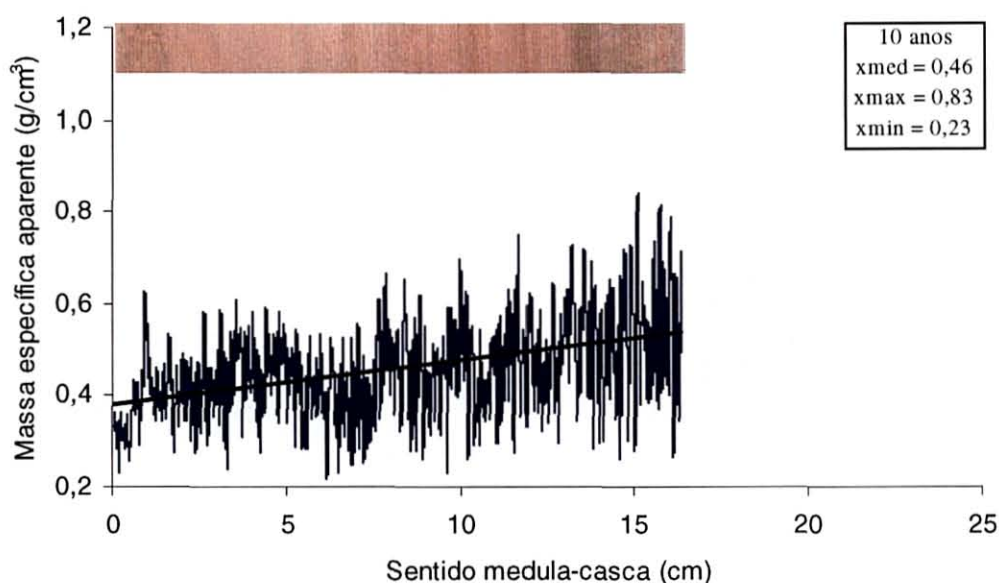
Considerando-se os valores encontrados neste trabalho, em relação à posição radial, verificou-se a maior variação dos valores (14,0%) entre as posições de 33 e 66%, correspondente à região do cerne periférico, seguida da variação de 8,7% entre as posições de 66 e 100% e, finalmente, da variação de 6,4% entre as posições de 0 e 33%. Todos os valores médios da idade de dez anos, independentemente das diferentes posições, foram inferiores à média geral. O menor valor de massa específica aparente foi encontrado na madeira de dez anos, na região mais próxima da medula, como consequência da presença de madeira juvenil. Todos os valores médios, encontrados nas posições mais próximas da medula (posições 0 e 33% no sentido medula-casca), independentemente das diferentes idades, foram inferiores à média geral. O menor valor de massa específica aparente de vinte e cinco anos em relação à madeira de vinte anos pode ser explicado pela diversidade de material genético e pelas diferentes condições locais de crescimento e tratamentos silviculturais (tabelas 1 e 2). Para as idades de quatorze e vinte e cinco anos, os valores médios encontrados na posição de 33% no sentido medula-casca foram iguais; situação idêntica foi observada na posição de 66% para as mesmas idades. Os valores médios de quase todas as posições da idade de vinte anos (exceção da posição da medula) foram superiores à média geral, denotando uma grande quantidade de madeira adulta e pouca quantidade de madeira juvenil.

Os coeficientes de variação foram relativamente baixos, indicando baixa variabilidade entre os valores utilizados. Tais valores estão em conformidade com os normalmente citados pela literatura. Tais valores evidenciam um aumento com a idade e com a variação radial, no sentido medula-casca, reflexo de uma maior quantidade e diversidade de material.

5.2.3 Densitometria de raios-X

A figura 6 apresenta o perfil densitométrico da seção radial, correspondente à madeira de dez anos.

FIGURA 6 - PERFIL DENSITOMÉTRICO DA SEÇÃO RADIAL DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis*, COM DEZ ANOS DE IDADE

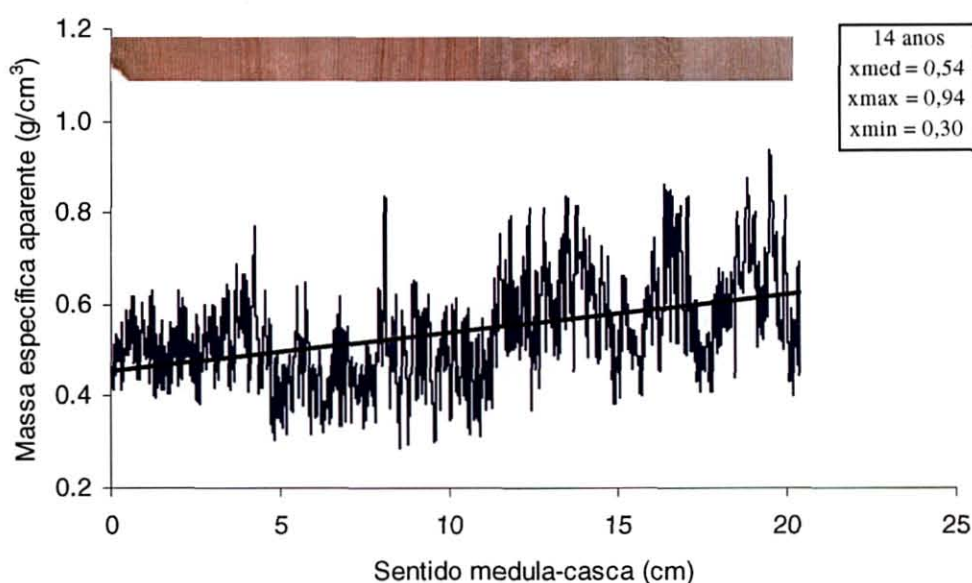


Através da figura 6, verifica-se uma enorme variabilidade dos dados, confirmando-se uma tendência de crescimento da massa específica aparente, ao longo da seção radial, no sentido medula-casca. O valor médio da massa específica aparente foi de $0,46 \text{ g/cm}^3$, sendo os limites individuais inferior e superior, respectivamente, de $0,23$ e $0,83 \text{ g/cm}^3$, correspondendo a uma variação de 360%. Este valor alto foi detectado em função da precisão do método que consegue detectar variações a intervalos de 10 micrômetros. Embora surgissem algumas oscilações ao longo do

perfil, mais da metade da seção radial, localizada na região mais próxima da medula, representa a porção que contém madeira juvenil. Os elementos anatômicos apresentaram dimensões variadas e, por certo, influenciaram o comportamento da madeira, servindo como indicadores da porção de madeira juvenil e de madeira adulta. O comprimento médio das fibras ficou por volta de 1,02 mm, variando de 0,78 mm na região mais próxima da medula, aumentando de valores ao longo da seção até atingir 1,15 mm, na região do alburno. A espessura da parede apresentou o mesmo comportamento, com um valor médio de 3,37 μm , variando de 3,01 μm , na região mais próxima da medula, até 3,83 μm , na região do alburno. O diâmetro médio dos vasos foi de 113,3 μm e a frequência vascular média foi de 11,58 poros/ mm^2 ; na região da medula, entretanto, o diâmetro médio dos vasos e a frequência vascular foram, respectivamente, de 77,9 μm e 18 poros/ mm^2 .

O perfil densitométrico da seção radial da madeira de quatorze anos é representado na figura 7.

FIGURA 7 - PERFIL DENSITOMÉTRICO DA SEÇÃO RADIAL DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis*, COM QUATORZE ANOS DE IDADE

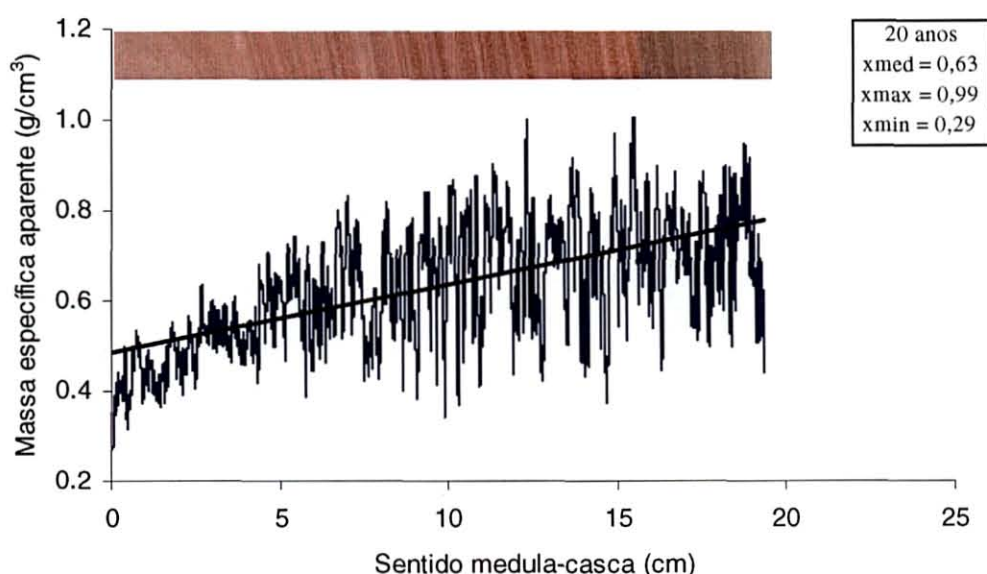


À semelhança do gráfico anterior, verificou-se uma enorme variabilidade dos dados e confirmou-se uma tendência de crescimento da massa específica aparente, ao

longo da seção radial, no sentido medula-casca. O valor médio da massa específica aparente foi de $0,54 \text{ g/cm}^3$, sendo os limites inferior e superior, respectivamente, de $0,30$ e $0,94 \text{ g/cm}^3$, correspondendo a uma variação de 313%. Este valor alto foi detectado em função da precisão do método que consegue detectar as mínimas variações, a intervalos de 10 micrômetros. Verificou-se uma alternância de valores ao longo da seção, com um ligeiro decréscimo na porção intermediária, voltando a crescer na região correspondente à madeira adulta. Os valores médios dos elementos anatômicos, superiores aos encontrados na madeira de dez anos, apresentaram dimensões variadas e, por certo, influenciaram o comportamento da madeira, servindo como indicadores da porção correspondente à madeira juvenil e à madeira adulta. O comprimento médio das fibras ficou por volta de 1,11 mm, variando de 0,92 mm na região mais próxima da medula, até atingir 1,24 mm na região do alburno. A espessura da parede apresentou o mesmo comportamento, com um valor médio de $3,78 \mu\text{m}$, variando de $3,03 \mu\text{m}$, na região mais próxima da medula, até $4,10 \mu\text{m}$, na região do alburno. O diâmetro médio dos vasos foi de $118,5 \mu\text{m}$ e a frequência vascular foi de $11,14 \text{ poros/mm}^2$.

O perfil densitométrico da seção radial da madeira de vinte anos é representado na figura 8.

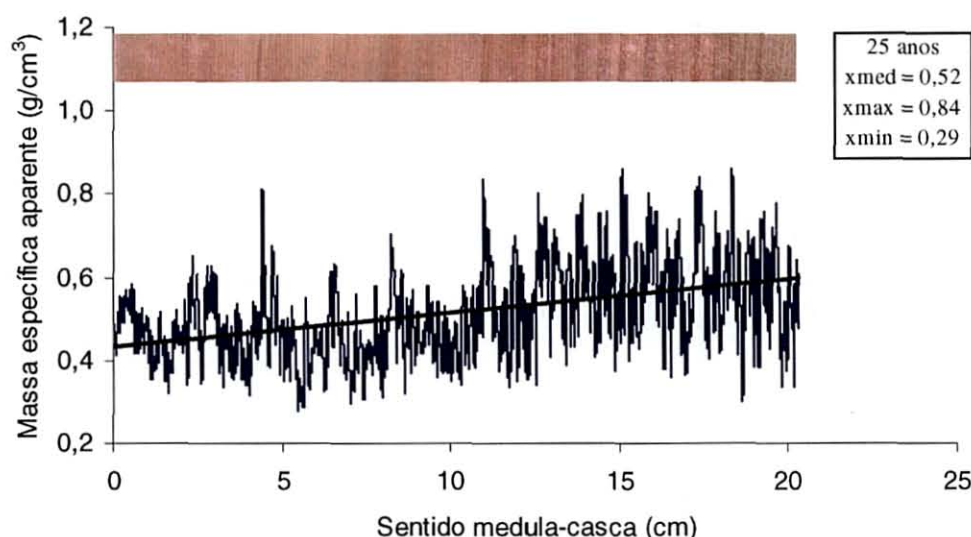
FIGURA 8 - PERFIL DENSITOMÉTRICO DA SEÇÃO RADIAL DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis*, COM VINTE ANOS DE IDADE



Verifica-se na figura 8 uma enorme variabilidade dos dados, confirmando-se uma tendência de crescimento da massa específica aparente, ao longo da seção radial, no sentido medula-casca. O valor médio da massa específica aparente foi de $0,63 \text{ g/cm}^3$, a maior entre as idades estudadas, sendo os limites inferior e superior, respectivamente, de $0,23$ e $0,99 \text{ g/cm}^3$, correspondendo a uma variação de 430%. Este valor alto foi detectado em função da precisão do método que consegue detectar as mínimas variações, a intervalos de 10 micrômetros. Além de apresentar a maior massa específica, a madeira de vinte anos apresentou a maior variabilidade interna. Não se detectou a presença de grande quantidade de madeira juvenil, à exceção do material mais próximo da medula. Os elementos anatômicos encontrados na madeira de vinte anos apresentaram dimensões variadas e valores bem superiores aos encontrados nas madeiras das demais idades nesse estudo; por certo, tais elementos influenciaram no comportamento e processo de formação da madeira, servindo como indicadores da porção correspondente à madeira juvenil e madeira adulta. A maior inclinação da reta, englobando os dados médios e representando a idade de vinte anos, é explicada pela maior variabilidade entre os valores de massa específica, decorrente da variação das dimensões dos elementos anatômicos, presentes ao longo da seção radial. O comprimento médio das fibras ficou por volta de 1,19 mm, variando de 0,89 mm, na região mais próxima da medula, até atingir 1,41 mm, na região do alburno. A espessura da parede apresentou o mesmo comportamento, com um valor médio de $4,05 \text{ }\mu\text{m}$, variando de $3,46 \text{ }\mu\text{m}$, na região mais próxima da medula, até $5,07 \text{ }\mu\text{m}$, na região do alburno. O diâmetro médio dos vasos é muito grande ($135,6 \text{ }\mu\text{m}$), mas a frequência vascular média é muito reduzida ($9,82 \text{ poros/mm}^2$). Na região da medula, a frequência vascular média é baixa, chegando a 7 poros/mm^2 . O perfil densitométrico da madeira de vinte anos revelou a grande quantidade de madeira adulta e reduzida porção de madeira juvenil, qualificando-a como madeira superior às madeiras estudadas. Ademais, a sua coloração, com um tom róseo-avermelhado bem característico, lhe confere maior valor e atração por parte de fabricantes e usuários de móveis.

O perfil densitométrico da seção radial da madeira de vinte e cinco anos é representado na figura 9.

FIGURA 9 - PERFIL DENSITOMÉTRICO DA SEÇÃO RADIAL DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis*, COM VINTE E CINCO ANOS DE IDADE



Através da figura 9, verifica-se uma tendência de crescimento da massa específica aparente, ao longo da seção radial, no sentido medula-casca e uma grande variabilidade dos dados. Comparado aos outros gráficos analisados, este é o que apresenta a menor variabilidade interna dos dados. A menor inclinação da reta desse gráfico, em relação ao correspondente à idade de vinte anos, é explicada pela menor variabilidade dos dados ao longo da seção radial. O menor valor de massa específica aparente da madeira de vinte e cinco anos em relação à madeira de vinte anos pode ser explicado pela diversidade de material genético e pelas diferentes condições locais de crescimento e tratamentos silviculturais (tabelas 1 e 2). O valor médio da massa específica aparente foi de $0,52 \text{ g/cm}^3$, sendo os limites inferior e superior, respectivamente, de $0,29$ e $0,84 \text{ g/cm}^3$, correspondendo a uma variação de 289%. Este valor alto foi detectado em função da precisão do método que consegue detectar as mínimas variações, a intervalos de 10 micrômetros. Verificou-se uma alternância de valores ao longo da seção, com um discreto decréscimo na porção intermediária, voltando a crescer na região correspondente à madeira adulta; uma considerável porção da seção

radial, principalmente a região compreendida o ponto 0 até 12 cm do raio, no sentido medula-casca, corresponde à porção de madeira juvenil. Os elementos anatômicos, muito semelhantes aos encontrados na madeira de quatorze anos, apresentaram dimensões variadas e, por certo, influenciaram o comportamento da madeira, servindo como indicadores da porção correspondente à madeira juvenil e de madeira adulta. O comprimento médio das fibras ficou por volta de 1,15 mm, variando de 0,92 mm na região mais próxima da medula, até atingir 1,32 mm na região do alburno. A espessura da parede apresentou o mesmo comportamento, com um valor médio de 3,85 μm , variando de 3,11 μm , na região mais próxima da medula, até 4,92 μm , na região do alburno. O perfil densitométrico da madeira de vinte e cinco anos se assemelha ao perfil da madeira de quatorze anos, apresentado anteriormente. Verifica-se uma considerável porção de madeira juvenil, o que provavelmente a torna uma madeira de propriedades inferiores quando comparada à madeira de vinte anos.

6 COMPOSIÇÃO QUÍMICA

O conhecimento da natureza química da madeira possibilita ao usuário o entendimento de seu comportamento como matéria-prima para diversos usos (OLIVEIRA, 1997). A madeira é um material orgânico e os seus constituintes químicos estão diretamente relacionados com as suas propriedades. A madeira é caracterizada como um material constituído de compostos de elevado grau de polimerização, como a celulose, hemicelulose e lignina, considerados os principais responsáveis pela sua morfologia e estrutura. Os extrativos, também de reconhecida importância em várias situações, atuam como componentes complementares e apresentam grande variabilidade em sua quantidade e constituição.

A madeira, segundo LEPAGE (1986), é um biopolímero tridimensional, composto, principalmente, de celulose, hemiceluloses e lignina, responsáveis pela formação da parede celular e pela maioria das suas propriedades. SEABRIGHT (1995) afirmou que as árvores de clima temperado apresentam altas proporções de celulose, hemicelulose e lignina, totalizando 98% da composição química das madeiras; as árvores tropicais, no entanto, apresentam menor proporção desses polímeros, aproximadamente 90%, em função da grande quantidade de extrativos e de algumas outras substâncias orgânicas e minerais. Segundo HILLIS e BROWN (1978), as diversas espécies de eucalipto apresentam a seguinte composição química para as suas madeiras: 40–62% de celulose, 12–22% de hemiceluloses e 15–25% de lignina. Nas coníferas, o cerne, geralmente, contém mais extrativos e menos celulose e lignina que o alburno; nas folhosas, no entanto, tais diferenças entre o cerne e o alburno das madeiras são quase inexistentes. O alburno, geralmente, apresenta açúcares e outros constituintes solúveis na seiva e materiais de reserva, como amido e gorduras; o cerne, por sua vez, apresenta grande concentração de materiais fenólicos. Segundo RAYMOND (2000), os teores de holocelulose e extrativos aumentam com a idade, ocorrendo o inverso para os teores de lignina. Diversos outros autores encontraram o inverso, quando os teores de lignina e extrativos apresentaram uma correlação direta com a idade e inversa com holocelulose.

WINANDY e ROWEL (1984) afirmaram que a celulose é responsável pela resistência da fibra, devido ao alto grau de polimerização e orientação linear da cadeia. Segundo SHIMOYAMA (1990), a celulose é altamente resistente à tração, devido às ligações covalentes dentro do anel piranosídico e entre as unidades individuais. Os carboidratos depositados na parede da fibra possuem um alto grau de polimerização e tornam a madeira mais densa.

Segundo BLAND (1971), a lignina, que se encontra presente na lamela média, cimenta as fibras, unindo-as umas às outras e a sua função na árvore é dar rigidez ao caule e conferir durabilidade à madeira. A quantidade de lignina presente na madeira apresenta uma correlação positiva com a recuperação da contração volumétrica. WINANDY e ROWEL (1984) verificaram que a estabilidade da madeira se deve à habilidade da lignina limitar o acesso de água no carboidrato, diminuindo a sua influência sobre a estrutura das pontes de hidrogênio. De acordo com CHOONG (1969), a lignina e os extrativos se incrustam em torno das fibrilas de celulose, diminuindo fortemente os espaços para a água, pois um elevado teor de moléculas fenólicas diminui a amplitude de contração da madeira.

Os extrativos, embora em menor percentual em relação aos demais componentes, fazem o diferencial e tornam-se a característica principal da madeira. Segundo HIGGINS (1988), HILLIS e BROWN (1978); PANSIN e DE ZEEW (1980), o teor de extrativos é um dos mais importantes indicadores de conformidade da madeira, para diversos usos industriais. TAYLOR (1973), KRAMER e KOSLOWSKY (1979), JANKOWSKY (1979), ZOBEL (1984), GONÇALEZ (1993), CHAFE (1994) afirmaram que, durante a formação do cerne, uma ampla variedade de substâncias extrativas, incluindo taninos, corantes, óleos, gomas, resinas e sais de ácidos orgânicos, se acumula nos lumes das células e paredes celulares, resultando na coloração mais escura da madeira, além de um aumento da massa específica e durabilidade. Os extrativos do cerne mais importantes são os polifenólicos que são compostos aromáticos com um ou mais grupos de hidroxilas fenólicas. HILLIS (1962), BAMBER e HUMPHREYS (1963) afirmaram que a quantidade de extrativos polifenólicos é menor no alburno, implicando numa menor durabilidade e pouca

coloração da madeira, em relação ao cerne; verificaram, ainda, um aumento quantitativo desses compostos da medula para a parte mais externa do cerne, com mudanças de conteúdo abruptas na periferia do cerne. Os extrativos são encontrados, quase sempre, no parênquima, mas podem aparecer nos vasos e nas fibras e, em alguns casos, em células especializadas.

A presença de extrativos na madeira pode comprometer a sua utilização em diversas situações. Segundo HILLIS e BROWN (1978), um elevado teor de açúcares na madeira pode retardar ou inviabilizar a cura do cimento, quando se utilizam tábuas ou formas de concreto em construções. As resinas e os compostos de caráter fenólico da madeira, por sua vez, podem alterar ou comprometer a utilização de tintas e vernizes, interferindo na cura e penetração de adesivos, comprometendo a reação de sua polimerização. ASHLEY e OZARSKA (2000) afirmaram que a descoloração e o endurecimento dos acabamentos são problemas comuns na madeira de eucalipto, devido aos altos teores de extrativos encontrados. Madeiras com altos teores de óleo, gorduras e resinas apresentam dificuldades na colagem de lâminas na fabricação de compensados. Além disso, existem madeiras que possuem substâncias corantes, alterando a cor original das peças que estão em contato. HILLIS (1978) assegura que a madeira de eucalipto, que contém elagitânicos, quando em contato com o ferro e o aço, apresenta manchas, reduzindo-lhe o valor estético. Segundo o mesmo autor, a presença de estilbenos, em certas madeiras, pode retardar a secagem de vernizes e filmes de tintas, afetando-lhes a estabilidade. Segundo CHAFE (1987), a durabilidade da madeira é atribuída à presença de extrativos de poder fungicida e inseticida em sua composição. Nos processos químicos de polpação, os teores elevados de extrativos na madeira dificultam a impregnação da madeira e favorecem a condensação da lignina, dificultando a solubilidade e reduzindo, conseqüentemente, o rendimento em polpa; alguns de seus constituintes podem, ainda, formar complexos com metais, levando à formação de incrustações nos trocadores de calor e evaporadores, diminuindo-lhes a eficiência.

SANTOS (1996) e RAYMOND (2000) afirmaram que as variações na composição química, no que se refere aos componentes fundamentais, não têm qualquer correlação com os índices de qualidade da madeira para produtos sólidos.

6.1 MATERIAL E MÉTODOS

A amostragem do material na árvore foi feita através da coleta de três discos, retirados da base e das extremidades das duas primeiras toras, totalizando quarenta e oito discos. De cada disco retirou-se uma cunha, correspondendo, aproximadamente, a 1/8 da seção do disco e, posteriormente, o material foi convertido em cavacos. Utilizando-se o moinho laboratorial Wiley, os cavacos foram transformados em serragem. O material utilizado nas análises químicas foi aquele que passou pela peneira de malha 40 mesh e ficou retido na malha de 60 mesh. As análises químicas e as respectivas normas adotadas foram as seguintes:

Extrativos totais	TAPPI T 624 om-82
Lignina insolúvel	GOMIDE & DEMUNER, 1986
Lignina solúvel	GOLDSHIMID, 1971
Holocelulose	por diferença

A análise química seguiu os procedimentos normalmente adotados pelos laboratórios que analisam apenas as amostras retiradas das seções longitudinais do tronco.

6.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.2.1 Teor de extrativos totais

O teor de extrativos totais apresentou uma tendência de crescimento em relação à idade e à posição do disco ao longo do tronco. Os valores médios estão apresentados na tabela 7.

Os resultados apresentados na tabela 7 ficaram dentro da faixa normalmente encontrada na literatura para *Eucalyptus grandis*, que varia de 2,50 a 7,00%. O teor de

extrativos apresentou valores crescentes com a idade e decrescentes em relação à posição ao longo do tronco, no sentido base-topo. O valor médio para o teor de extrativos totais foi de 4,08%, e os limites inferior e superior foram, respectivamente.

TABELA 7 - VALORES MÉDIOS DOS TEORES DE EXTRATIVOS TOTAIS (%)
DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis*, DE DIFERENTES IDADES
E POSIÇÕES AO LONGO DO TRONCO

TRATAMENTO	N	MÉDIAS	TUKEY	CV (%)	DP (%)
Idade 10 anos	24	3,41	a ^{1/}	14,78	0,505
Idade 14 anos	24	3,85	b	19,71	0,760
Idade 25 anos	24	4,46	c	25,31	1,129
Idade 20 anos	24	4,60	c	24,82	1,143
Disco 2	32	3,46	a	9,74	0,337
Disco 1	32	3,68	a	14,27	0,525
Disco base	32	5,11	b	21,45	1,096
Interação idade X disco					
10 anos x disco 2	8	3,09	a	9,71	0,300
14 anos x disco 2	8	3,17	a	9,27	0,294
10 anos x disco 1	8	3,24	ab	8,95	0,290
20 anos x disco 2	8	3,65	ab	3,56	0,130
25 anos x disco 2	8	3,72	ab	6,69	0,249
14 anos x disco 1	8	3,75	bc	13,72	0,516
25 anos x disco 1	8	3,76	bc	2,18	0,082
10 anos x disco base	8	3,90	cd	12,49	0,487
20 anos x disco 1	8	4,15	cd	9,18	0,381
14 anos x disco base	8	4,63	de	11,90	0,551
25 anos x disco base	8	5,88	f	10,49	0,617
20 anos x disco base	8	6,02	f	12,52	0,754
MÉDIA GERAL			4,08		

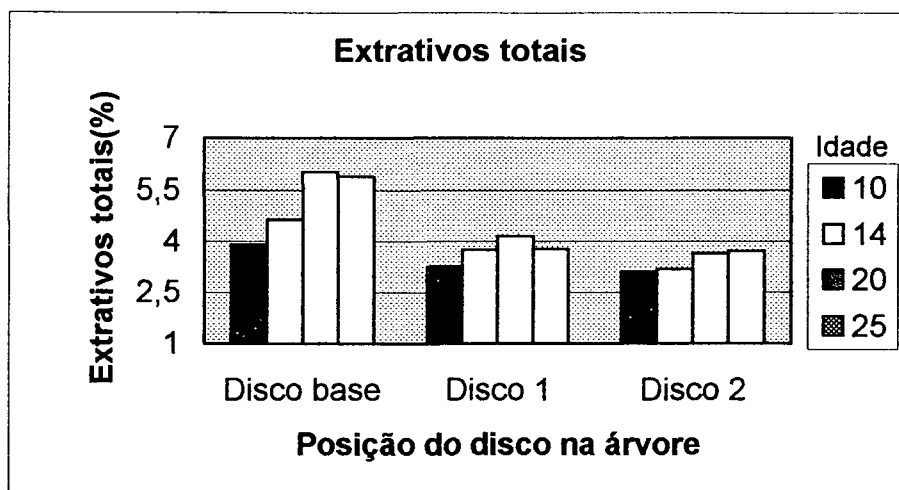
^{1/} Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente, pelo teste de Tukey, com significância de 5% ($p < 0,05$).

de 2,76% (idade de dez anos na posição correspondente à extremidade da segunda tora) e 6,34% (idade de vinte anos no disco da base), apresentando uma variação de mais de 297,0%. Considerando-se os valores apresentados na tabela 7, verificou-se a maior variação dos valores (26,67%) entre as madeiras de quatorze e vinte e cinco anos, seguida da variação de 24,31% entre as madeiras de dez e quatorze anos; entre as madeiras de vinte e vinte e cinco anos, a variação foi de apenas 5,61%. Conforme amplamente documentado pela literatura, o teor de extrativos da madeira de árvores mais jovens tende a apresentar valores mais reduzidos que os encontrados para

madeiras mais maduras em função da maior quantidade de madeira juvenil. A partir de certa idade, formam-se nas madeiras o cerne e uma grande quantidade de extrativos, como consequência da morte da maioria das células, bem como a síntese de substâncias fenólicas. A madeira de dez anos, independentemente da posição do disco, apresentou valores inferiores à média geral e às médias de outras idades, devido à grande quantidade de madeira juvenil. Diversos autores confirmaram em seus trabalhos um aumento sistemático do teor de extrativos da madeira com a idade, havendo uma tendência de estabilização após certa idade da árvore. Observou-se uma diferença estatística entre os teores encontrados na madeira de dez, quatorze e vinte e cinco anos, mas tal diferença não foi observada entre os teores encontrados nas madeiras de vinte e vinte e cinco anos, indicando uma tendência de estabilização com a idade. Estatisticamente, observou-se uma diferença entre todas as idades, em nível de significância de 5%. Os valores médios apresentados para a madeira de quatorze e vinte e cinco anos mostraram-se muito próximos à média geral, mas apresentaram diferenças estatísticas entre si. Através da análise de variância, detectou-se que o teor de extrativos na madeira foi muito mais afetado pela posição do disco na árvore do que pela idade; em menor intensidade, a interação de seus efeitos também afetou os teores de extrativos da madeira em questão, conforme pode ser comprovado no anexo 3.

Conforme relatado na literatura, os extrativos são remanescentes do processo de formação do cerne, concentrando-se nas toras mais próximas da base, tecido mais velho da árvore, e nas árvores mais velhas, em consonância com os dados apresentados anteriormente na tabela 7. A figura 10 apresenta melhor esta tendência.

FIGURA 10 - VARIAÇÃO DO TEOR DE EXTRATIVOS TOTAIS (%) DA MADEIRA DE *EUCALYPTUS GRANDIS* DE DIFERENTES IDADES E POSIÇÕES AO LONGO DO TRONCO



Estatisticamente, os teores de extrativos encontrados nos discos das posições 1 e 2 não apresentaram diferenças significativas entre si, mas ambos diferiram dos teores encontrados no disco da base. Em todas as idades analisadas, observou-se uma tendência decrescente do teor de extrativos do disco da base para o disco 2. Considerando-se os valores encontrados neste trabalho, em relação à posição ao longo do tronco, verificou-se a maior variação dos valores (68,75%) entre as posições de base e o disco 1, seguida da variação de 11,83% entre as posições do disco 1 e disco 2.

6.2.2 Teor de lignina total

Os valores médios dos teores de lignina total estão apresentados na tabela 8.

TABELA 8 - VALORES MÉDIOS DOS TEORES DE LIGNINA TOTAL (%) DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis*, DE DIFERENTES IDADES E POSIÇÕES AO LONGO DO TRONCO

TRATAMENTO	N	MÉDIAS	TUKEY	CV (%)	DP (%)
Idade 10 anos	24	25,53	a ^{IV}	5,58	1,426
Idade 14 anos	24	27,12	b	6,22	1,686
Idade 25 anos	24	27,95	bc	5,33	1,491
Idade 20 anos	24	28,29	c	6,40	1,811
Disco 2	32	26,41	a	6,34	1,675
Disco 1	32	26,71	a	5,79	1,546
Disco base	32	28,59	b	6,31	1,803
Interação Idade X disco					
10 anos x disco 2	8	24,73	a	7,27	1,798
10 anos x disco 1	8	25,35	ab	4,11	1,041
14 anos x disco 1	8	26,35	ab	6,20	1,634
14 anos x disco 2	8	26,40	abc	5,86	1,547
10 anos x disco base	8	26,53	abc	2,55	0,676
25 anos x disco 2	8	27,01	bc	2,24	0,606
20 anos x disco 2	8	27,51	bcd	4,27	1,176
25 anos x disco 1	8	27,56	bcde	2,80	0,773
20 anos x disco 1	8	27,59	bcde	5,46	1,507
14 anos x disco 1	8	28,63	cde	2,28	0,650
25 anos x disco base	8	29,23	de	6,07	1,776
20 anos x disco base	8	29,76	e	6,18	1,840
MÉDIA GERAL			27,22		

^{IV} Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, com significância de 5% ($p < 0,05$).

O teor de lignina total apresentou uma tendência crescente em relação à idade e à posição longitudinal, sentido base-topo. Os resultados encontrados no presente estudo estão em consonância com os normalmente encontrados na literatura. O valor médio para o teor de lignina total foi de 27,22%, sendo os limites inferior e superior, respectivamente, de 23,78% (idade de dez anos no disco da posição 2) e 30,70% (idade de vinte anos no disco da base), apresentando uma variação de mais de 29,0%. Considerando-se os valores apresentados na tabela 8, verificou-se a maior variação dos valores (6,23%) entre as madeiras de dez e quatorze anos, seguida da variação de 3,06% entre as madeiras de quatorze e vinte e cinco anos; entre as madeiras de vinte e vinte e cinco anos, a variação foi de, apenas, 1,21%.

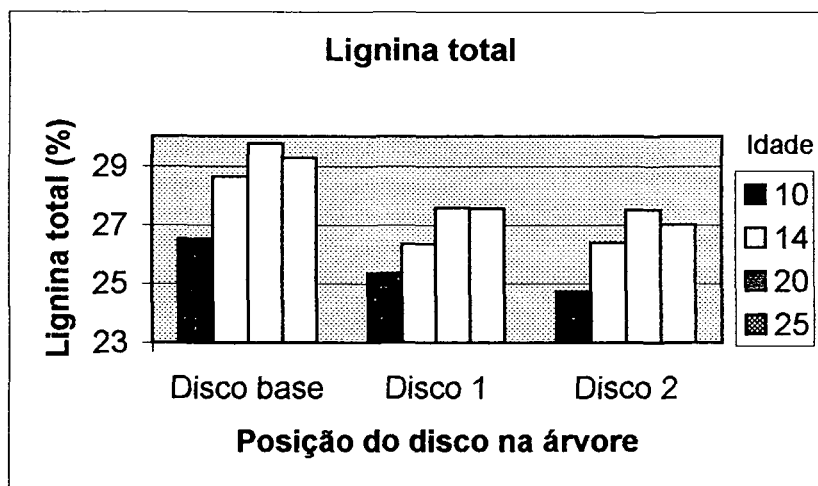
O teor de lignina total da madeira de árvores mais jovens tendeu a apresentar valores mais reduzidos que os encontrados nas madeiras mais maduras, em função da

maior quantidade de madeira juvenil. Diversos autores confirmaram em seus trabalhos um aumento sistemático do teor de lignina total da madeira com a idade, havendo uma tendência de estabilização, após certa idade da árvore.

Os dados apresentados na tabela 8 evidenciaram uma diminuição percentual de lignina a partir da base até o disco da posição 2, mostrando que a influência da posição do disco na árvore sobre o teor de lignina é muito forte, confirmada pela análise de variância (anexo 4). Também o efeito da idade foi pronunciado, embora em menor intensidade, mas não se observou nenhum efeito da interação desses efeitos sobre o teor de lignina. A figura 11 ilustra melhor as tendências de variação do teor de lignina na madeira de diferentes idades.

Observou-se uma diferença estatística significativa entre as idades de dez, quatorze e vinte e cinco anos, mas os valores encontrados para os teores de lignina nas idades de quatorze e vinte e cinco anos não apresentaram diferenças entre si, o mesmo acontecendo para as idades de vinte e vinte e cinco anos. Quanto à posição no disco, observaram-se diferenças estatísticas entre os valores encontrados nos discos 1 e 2, mas tais diferenças não foram observadas para os discos 1 e da base. Considerando-se os valores encontrados neste trabalho, em relação à posição ao longo do tronco, verificou-se a maior variação dos valores (7,03%) entre as posições de base e o disco 1, seguida da variação de 1,14% entre as posições do disco 1 e disco 2. Os valores de coeficiente de variação foram relativamente baixos, evidenciando uma certa homogeneidade entre as amostras utilizadas, situando-se entre os valores normalmente encontrados na literatura.

FIGURA 11 - VARIAÇÃO DO TEOR DE LIGNINA TOTAL (%) DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis* DE DIFERENTES IDADES E POSIÇÕES AO LONGO DO TRONCO



6.2.3 Teor de holocelulose

Os resultados encontrados no presente estudo estão em consonância com os normalmente encontrados na literatura. O teor de holocelulose apresentou uma tendência inversa em relação à idade. O valor médio para o teor de holocelulose foi de 68,69%, sendo os limites inferior e superior, respectivamente, de 63,21% (idade de vinte anos no disco da base) e 73,11% (idade de quatorze anos no disco da posição 2), apresentando uma variação de mais de 15,66%. Considerando-se os valores apresentados na tabela 10, verificou-se a maior variação dos valores (2,7%) entre as madeiras de dez e vinte e cinco anos, seguida da variação de 1,61% entre as madeiras de dez e quatorze anos; entre as madeiras de vinte e vinte e cinco anos, a variação foi de apenas 0,7%. O teor de holocelulose da madeira de árvores mais jovens tende a apresentar maiores valores que os encontrados para madeiras mais maduras, em função da maior quantidade de madeira juvenil. Os valores médios estão apresentados na tabela 9.

TABELA 9 - VALORES MÉDIOS DOS TEORES DE HOLOCELULOSE (%) DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis*, DE DIFERENTES IDADES E POSIÇÕES AO LONGO DO TRONCO

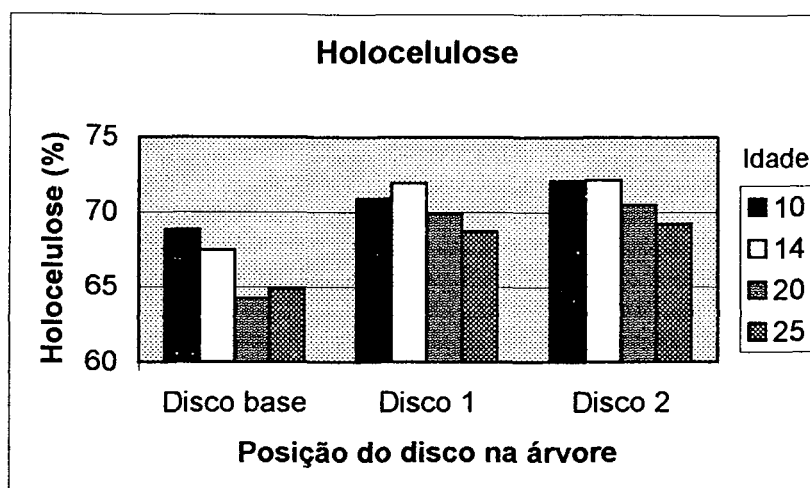
TRATAMENTO	N	MÉDIAS	TUKEY	CV (%)	DP (%)
Idade 20 anos	24	67,11	a ^{1/}	3,74	2,513
Idade 25 anos	24	67,59	a	3,72	2,517
Idade 10 anos	24	69,46	b	2,95	2,050
Idade 14 anos	24	70,61	c	2,44	1,726
Disco base	32	66,34	a	3,72	2,471
Disco 1	32	69,61	b	2,45	1,705
Disco 2	32	70,13	b	2,56	1,796
Interação idade X disco					
20 anos x disco base	8	64,22	a	2,68	1,720
25 anos x disco base	8	64,85	a	3,93	2,550
14 anos x disco base	8	67,47	b	1,61	1,088
20 anos x disco 1	8	68,26	bc	2,09	1,429
25 anos x disco 1	8	68,71	bcd	1,38	0,950
10 anos x disco base	8	68,84	bcd	0,42	0,288
20 anos x disco 2	8	68,85	bcd	3,70	2,550
25 anos x disco 2	8	69,21	bcd	0,89	0,615
14 anos x disco 1	8	70,35	cde	2,40	1,687
14 anos x disco 2	8	70,59	cdc	2,44	1,722
10 anos x disco 1	8	70,89	de	1,47	1,040
10 anos x disco 2	8	72,11	e	2,15	1,548
MÉDIA GERAL		68,69			

^{1/} Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, com significância de 5% ($p < 0,05$).

Embora haja controvérsias, diversos autores confirmaram em seus trabalhos uma diminuição sistemática do teor de holocelulose da madeira com o aumento da idade, havendo uma tendência de estabilização após certa idade da árvore. Os dados apresentados na Tabela 9 evidenciam um decréscimo de holocelulose a partir da base até a posição 2, mostrando que a influência da posição do disco na árvore é muito forte, confirmada pela análise de variância (anexo 5). Também o efeito da idade é pronunciado, embora em menor intensidade, mas o efeito da interação sobre o teor de holocelulose foi praticamente insignificante.

A figura 12 permite melhor visualização das tendências de variação do teor de holocelulose entre as diferentes idades e posições ao longo do tronco.

FIGURA 12 - VARIAÇÃO DO TEOR DE HOLOCELULOSE (%) DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis* DE DIFERENTES IDADES E POSIÇÕES AO LONGO DO TRONCO



Estatisticamente, os discos nas posições 1 e 2 não apresentaram diferenças significativas entre si, mas diferiram significativamente do disco da base; entre as idades de dez, quatorze e vinte e cinco anos, observaram-se diferenças significativas entre si, mas tais diferenças não foram observadas para as idades de vinte e vinte e cinco anos. Considerando-se os valores encontrados neste trabalho, em relação à posição ao longo do tronco, verificou-se a maior variação dos valores (4,81%) entre as posições da base e o disco 1, seguida da variação de 0,73% entre as posições do disco 1 e disco 2.

Os valores de coeficiente de variação foram muito baixos, evidenciando uma certa homogeneidade entre as amostras utilizadas, situando-se entre os valores normalmente encontrados na literatura. Tais valores mostraram ser superiores nas maiores idades e na região da base, reflexo de uma maior quantidade e diversidade de material.

7 ANATOMIA DA MADEIRA

Os estudos anatômicos possibilitam a identificação das espécies e, mais do que isso, informações sobre a estrutura do lenho, permitindo identificar as relações entre o lenho e as características gerais da madeira, principalmente nos aspectos referentes à resistência mecânica, permeabilidade, resistência natural e trabalhabilidade.

Segundo MARCATI (1992), a madeira é o resultado de todo o processo de desenvolvimento celular (divisão, diferenciação e maturação) das plantas arbóreas, sendo considerada o xilema secundário da árvore. Como um resultado do câmbio, numerosos fatores, tanto internos quanto externos à árvore, conduzem a variações quanto ao tipo, número, tamanho, forma, estrutura física e composição química dos elementos. A sua estrutura é caracterizada pelo arranjo e pela quantidade proporcional de diferentes tipos de células, como fibras, traqueídeos, vasos, parênquima axial e raios, influenciando, significativamente, as diversas propriedades da madeira.

Segundo MOREIRA (1999), o lenho das árvores é constituído por diferentes tipos de células. As folhosas formam um grupo especial e apresentam uma grande variação em termos de tipos e arranjos celulares. Segundo DADSWELL (1960), KNIGGE e KOLTZENBURG (1965), o comprimento das fibras e traqueóides, dos vasos e das células do parênquima axial é diretamente influenciado pelas divisões das células iniciais fusiformes no câmbio; tais células originam os elementos dispostos no sentido longitudinal e as células radiais, por sua vez, originam os elementos dispostos no sentido radial (raios). O seu processo de desenvolvimento envolve cinco etapas: a) divisão celular; b) diferenciação; c) crescimento em área; d) espessamento da parede; e) lignificação. As etapas de desenvolvimento mencionadas, segundo MOREY (1981), definem o comprimento, a largura, o diâmetro do lume e a espessura da parede das células. ZOBEL e BUJTENEN (1989) afirmaram que as características morfológicas das fibras variam significativamente entre e dentro das árvores e podem ser controladas geneticamente, bem como apresentar alterações, em função de diferentes práticas silviculturais e da alteração da idade de corte.

A proporção de fibras e o seu comprimento, segundo MOREIRA (1999), são as características de maior interesse tecnológico. O comprimento das fibras é diretamente influenciado pelas divisões longitudinais-tangenciais no câmbio, como resultado da taxa de hormônios da árvore, que pode variar com a sazonalidade, condições ambientais, fatores genéticos e idade da árvore. A fibra madura é, no máximo, cinco vezes mais longa do que a inicial fusiforme da qual se originou. MOREY (1981) assegurou que a causa do alongamento da fibra durante a fase de diferenciação se deve à interação do potencial genético da célula e à sequência das mudanças fisiológicas, encontradas nas proximidades do câmbio, em função dos fatores ambientais. Segundo PANSIN e DE ZEEUW (1980) e TSOUKIS (1991), a variação do comprimento das células reflete duas fases: a) uma fase inicial, conhecida como período juvenil, próximo à medula, onde ocorrem mudanças fundamentais na composição da parede, associadas ao período de maturação cambial, onde ocorre um rápido aumento no comprimento da célula; b) uma segunda fase, onde o câmbio já se encontra maduro, produzindo células cujo comprimento pode variar intensamente nos anéis de crescimento adjacentes e, em consequência, resultando numa maior estabilidade.

A variação nas dimensões das células é também influenciada pela idade da árvore. Segundo TOMAZELLO FILHO (1985a), ANDRADE (1987) e WILKES (1988), as células cambiais passam a produzir, durante um certo tempo, elementos com maiores dimensões, até atingir a sua estabilização, em idades mais avançadas, ao longo do raio. Em função disso, há um aumento no comprimento das fibras no sentido medula-casca, com o aumento da idade. Assim, as fibras localizadas nas camadas de crescimento, mais próximas da medula e a um dado nível do tronco, apresentam menores dimensões do que aquelas localizadas nas camadas finais de crescimento, mais próximas à casca. Tal fato foi constatado por DADSWELL (1960), KNIGGE e KOLTZENBURG (1965), GONZAGA et al. (1983), CAMARGO et al. (1987), D'ALMEIDA (1988), TOMAZELLO FILHO (1985b), TOMAZELLO FILHO (1988), WILKES (1988), BHAT et al. (1990), SHIMOYAMA (1990), TRUGILHO et al. (1996), OLIVEIRA (1997) ao estudarem madeiras de eucalipto. HILLIS (1978) observou uma grande variabilidade entre as espécies até que elas alcancem os

máximos valores de comprimento de fibras e citou a madeira de *Eucalyptus pilularis*, que, somente após trinta anos de idade, apresentou o máximo valor para o comprimento de fibra; para o *Eucalyptus camaldulensis* e *Eucalyptus regnans*, os valores máximos foram obtidos após vinte e dez anos, respectivamente. Segundo o mesmo autor, tais diferenças são mais acentuadas entre madeiras da mesma espécie, mas de diferentes idades, do que entre madeiras de mesma idade, mas de diferentes espécies. RANATUNGA (1964), estudando a madeira de *Eucalyptus grandis*, verificou que o comprimento de fibra aumentou com a idade, atingindo um valor constante, próximo dos oito a nove anos. MAZZEI e OVERBECK (1966) avaliaram as dimensões das fibras de *Eucalyptus saligna*, com idades variando de cinco a vinte anos, e verificaram que as fibras aumentaram em comprimento até o décimo ano, seguido-se uma estabilização que foi considerado como limite de madeira juvenil/adulta. HANS e BURLEY (1972), estudando a madeira de diversas espécies de eucalipto, verificaram uma variação crescente no comprimento das fibras, no sentido medula-casca, até atingir um valor constante, a partir dos nove a dez anos de idade. SARDINHA (1979), estudando madeira de *Eucalyptus saligna*, com vinte e cinco anos de idade, encontrou um modelo de variação radial, no qual os maiores acréscimos no comprimento, diâmetro e espessura da parede das fibras ocorreram nos anos iniciais de vida, seguindo-se de uma gradual redução e estabilização aos oito a nove anos de idade. OHBAYASHI e SHIOKURA (1989) verificaram que, em *Eucalyptus saligna*, o comprimento das fibras aumentou rapidamente na seção radial, no sentido medula-casca, nos primeiros anos, atingindo, praticamente o dobro do comprimento, ao final da seção, independente do diâmetro das árvores. TOMAZELLO FILHO (1985b) afirmou que, regra geral, o modelo de variação no sentido radial das árvores de eucalipto, com idades de um a vinte e cinco anos, é caracterizado pelo aumento das dimensões das fibras, nos primeiros anos e, após esse período, atinge uma estabilização em torno do oitavo ao décimo anel de crescimento. Segundo o mesmo autor, as fibras de *Eucalyptus grandis* são tipicamente libriiformes e fibrotraqueídeos, com predominância de fibras curtas, estreitas e com espessura da parede média.

Segundo SHIMOYAMA (1990), a largura das fibras está relacionada a fatores genéticos e ambientais, além do crescimento sazonal. Na primavera e verão, por exemplo, a árvore produz maior quantidade de hormônios, acarretando maiores aumentos na largura das células. Hormônios específicos agem no arranjo das fibrilas, ora afrouxando-as, através de um aumento do ângulo fibrilar e aumento do diâmetro da fibra, ora concentrando-as, através da diminuição do ângulo fibrilar, acarretando uma diminuição da largura das fibras. Segundo a mesma autora, a largura das fibras é influenciada pela idade cambial e tende a aumentar no sentido medula-casca. A mesma autora, citando outros pesquisadores que trabalharam com diversas espécies de *Eucalyptus*, afirmou que, quanto maior a largura das fibras, menor a massa específica. O diâmetro do lume, por sua vez, está relacionado com a largura e espessura da parede das fibras. Assim, quanto maiores forem os seus valores, mais espaços vazios serão encontrados na madeira, indicando uma menor massa específica.

SHIMOYAMA (1990), MOREIRA (1999), citando vários autores, afirmaram que a espessura da parede das fibras está muito relacionada a fatores genéticos e ambientais, bem como à idade da árvore. Segundo PANSIN e DE ZEIJW (1980), a espessura da parede das fibras de folhosas tende a aumentar no sentido medula-casca, situação também observada por TOMAZELLO FILHO (1985b). PANSIN e DE ZEIJW (1970) afirmaram que a fibra adulta é formada por duas paredes, a primária e a secundária. Durante o crescimento em comprimento, a fibra apresenta apenas a parede primária. Sua espessura não chega a 0,1 μm , representando apenas 2% do total da parede celular. A parede secundária, geralmente, aparece após ter cessado o aumento em comprimento. Seu espessamento ocorre com a deposição de carboidratos, principalmente quando diminui o crescimento da árvore. Segundo os mesmos autores, a parede secundária é dividida em três camadas: a primeira camada, denominada S1, com espessura de 0,2 μm , representando 16% da espessura total da parede; a segunda camada, denominada S2 e considerada a mais importante, com espessura que varia de 2 a 5 μm , representa 74% da espessura total da parede, e a terceira camada, denominada S3, com espessura de 0,1 μm , representa 8% da parede celular. Segundo SHIMOYAMA (1990) e RUY (1998), os carboidratos que são depositados na parede

da fibra possuem alto grau de polimerização e alto peso molecular, podendo tornar a madeira mais densa. A mesma autora citou inúmeros pesquisadores que encontraram relações positivas entre a massa específica e a espessura da parede das fibras, chegando, mesmo, a concluir que a massa específica pode dar indicações da espessura da parede da fibra. HILLIS (1978) afirmou que a parede celular da fibra pode variar entre espécies, entre lenho inicial e tardio, bem como entre madeira normal e de tração. Segundo o mesmo autor, tal parâmetro está muito relacionado com a resistência da madeira e com as propriedades de usinagem.

Os vasos desempenham a função de condução de líquidos e variam quanto à frequência, diâmetro, forma e arranjo dentro da árvore. Em espécies de porosidade difusa, como o eucalipto, HILLIS (1978) verificou que os vasos são de pequeno tamanho em diâmetro e são do mesmo tamanho em relação ao tempo de formação. PANSIN e DE ZEIJW (1980) afirmaram que, no sentido medula-casca, ocorre um aumento do diâmetro dos elementos de vasos e uma redução da sua frequência ao longo dos anéis sucessivos de crescimento, tendendo à estabilização dos seus valores na madeira adulta. Tal fato foi confirmado por TOMAZELLO FILHO (1985b), utilizando madeiras de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*, e WILKES (1988), utilizando várias espécies de eucalipto. Estudando a madeira de *Eucalyptus grandis*, TOMAZELLO FILHO (1985b) verificou que os vasos eram pouco numerosos, com grande número de vasos isolados, dispostos em cadeias oblíquas, envolvidos parcial ou totalmente pelo parênquima paratraqueal vasicêntrico e aliforme.

7.1 MATERIAL E MÉTODOS

Para a análise anatômica, foram utilizadas dezesseis árvores, sendo quatro para cada uma das idades testadas; delas foram retirados três discos por árvore, localizados na base e ao final da primeira e segunda toras; de cada disco, retirou-se uma bagueta, com dimensões de 1,0 x 1,0 cm, ao longo de toda a seção radial, totalizando quarenta e oito amostras. De cada bagueta, retiraram-se cinco amostras, de dimensões 1,0 x 1,0 x 1,0 cm, tomadas de pontos equidistantes, correspondentes a 0, 25, 50, 75 e 100% da seção, no sentido medula-casca, totalizando 240 sub-amostras. De uma parte

de cada sub-amostra, foram retirados fragmentos (palitos finos) e colocados em tubos de ensaio, com solução de peróxido de hidrogênio, segundo método preconizado por DADSWELL (1972). A mistura foi deixada em estufa, a temperatura de 60°C, por um período de quarenta e oito horas, até que os palitos ficassem com uma coloração branca. Após a maceração, a mistura foi filtrada em cadinho sinterizado, de porosidade média, lavando-a com água, a temperatura ambiente. Após a individualização das fibras, montaram-se as lâminas e mediram-se vinte fibras, individualmente, determinando-lhes o comprimento, largura e diâmetro do lume. Para a medição do comprimento de fibras, utilizou-se um microscópio projetor de fibras, de marca BAUSCH e LOMB; para as medições de largura e diâmetro do lume, utilizou-se um microscópio ótico comum, com o auxílio de uma ocular micrométrica. A espessura da parede celular foi obtida através de cálculo matemático, relacionado à metade da diferença entre a largura e o diâmetro do lume. A face transversal do restante de cada sub-amostra foi devidamente aparada no micrótomo e polida, sendo utilizada para se medir o diâmetro tangencial e avaliar a frequência dos poros, através de um sistema de captura de imagens. Tal sistema consistiu em se localizar o foco da seção transversal do lenho no microscópio, procedendo-se à captura de imagens, através de uma câmara CCD, visualizando-se, em tempo real, a imagem no microcomputador. A imagem foi adquirida através da placa de aquisição e de um software específico.

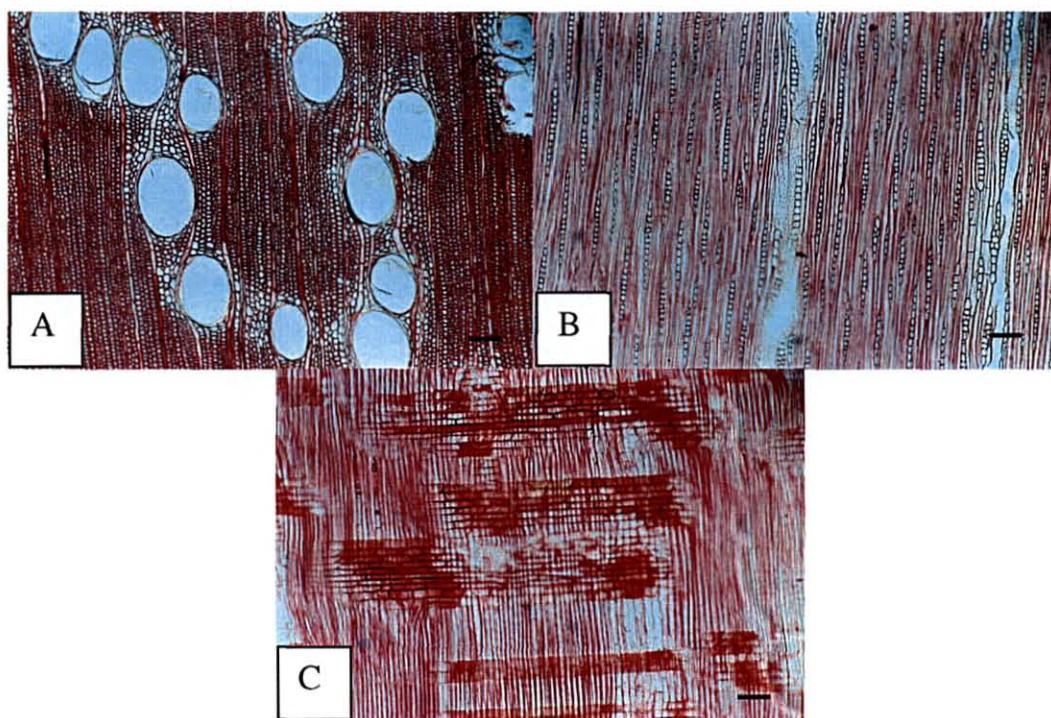
Para os cortes histológicos, utilizou-se uma nova bagueta retirada da seção radial do disco da base de cada árvore, totalizando dezesseis amostras. Desse material, retirou-se um cubo de seção de 1,0 x 1,0 e 2,0 cm da região do cerne periférico, para a realização de cortes histológicos dos três planos fundamentais: transversal, longitudinal tangencial e longitudinal radial, segundo norma da COPANT (1974). Os cortes foram feitos com a espessura próxima de 20 µm, através de um micrótomo de deslize. De cada bloco, foram realizados dois cortes de cada plano fundamental, totalizando seis cortes. Cada lâmina permanente foi montada em bálsamo, com um corte corado com safranina e outro corte, sem corante.

7.2 RESULTADOS E DISCUSSÕES

7.2.1 Descrição anatômica qualitativa

Segundo ALFONSO (1987), a descrição anatômica qualitativa prevê a descrição de algumas características gerais e observações microscópicas da madeira. Analisando-se as madeiras do presente estudo, verificou-se extrema homogeneidade no material correspondente às idades em estudo, não se destacando quaisquer detalhes que se caracterizassem como diferenças morfológicas entre elas. O resultado comprova as afirmações de OLIVEIRA (1997) de que a madeira de algumas espécies de eucalipto apresenta estrutura anatômica muito homogênea, a nível morfológico, o que dificulta, em alguns casos, a sua separação com base apenas na composição e arranjo estrutural dos constituintes de seu lenho. A figura 13 apresenta fotomicrografias, correspondentes aos três planos de observação da madeira de quatorze anos de idade.

FIGURA 13 - FOTOMICROGRAFIAS MOSTRANDO A SEÇÃO TRANSVERSAL (A), LONGITUDINAL TANGENCIAL (B) E LONGITUDINAL RADIAL (C) DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis*, AOS QUATORZE ANOS DE IDADE (A BARRA CORRESPONDE A 100 μ m)



A descrição apresentada, a seguir, é válida para todas as idades, em função da homogeneidade da estrutura anatômica do material analisado:

- Porosidade : difusa;
- Arranjo dos vasos: diagonal;
- Agrupamento dos vasos: solitários, raros múltiplos (geminados) presentes;
- Forma de seção do elemento de vaso: arredondada (ovalada a circular);
- Placa de perfuração: simples;
- Tilos: presentes;
- Depósitos em vasos: ausentes;
- Pontoações intervasculares: areoladas alternas, de forma arredondada (oval a circular) e ornamentação guarnecida;
- Pontoações raio-vasculares: algumas semelhantes às intervasculares e outras simples;
- Traqueóides vasicêntricos: presentes;
- Fibrotraqueídeos com pontuação areolada: presentes;
- Parênquima axial: indistinto mesmo sob lente, pouco abundante; variável de paratraqueal escasso a paratraqueal vasicêntrico, também confluyente em trechos curtos oblíquos e difuso (escasso);
- Tipo de células do parênquima: seriado;
- Disposição de células do parênquima: não estratificadas;
- Raios: visíveis apenas sob lente, espelhados, pouco contrastados, unisseriados e alguns localmente bisseriados, com presença de substância tanífera;
- Composição celular dos raios: homogêneos, formadas por células procumbentes, sendo extremamente finos e baixos;
- Cristais: prismáticos, presentes nas células do parênquima axial e radial.

7.2.2 Descrição anatômica quantitativa

A descrição anatômica quantitativa envolve a mensuração dos elementos anatômicos, tornando-se um estudo indispensável para o entendimento da composição e organização dos tipos celulares. No presente estudo, observou-se uma variação significativa das dimensões dos elementos anatômicos em relação às diferentes idades e à variação radial, no sentido medula-casca.

7.2.2.1 Comprimento das fibras

As características dimensionais relativas ao comprimento das fibras estão apresentadas na tabela 10.

Os valores encontrados para o comprimento de fibras estão em conformidade com os normalmente encontrados na literatura (KOKUREK e STEVENS, 1983; TOMAZELLO FILHO, 1985b; SMOOK, 1987; D'ALMEIDA, 1988; CARVALHO, 1997; OLIVEIRA, 1997), dentro da faixa estabelecida, que varia de 0,75 a 1,40 mm (BARRICHELO e BRITO, 1976). O valor médio para o comprimento das fibras foi de 1,12 mm, sendo os limites superior e inferior, respectivamente, de 1,43 mm (idade de vinte anos na posição mais próxima da casca) e 0,76 mm (idade de dez anos na posição mais próxima da medula), com uma variação de 88,16%. Os dados apresentados na tabela 10 evidenciam um aumento no comprimento das fibras em função da variação da idade e, principalmente, do sentido medula-casca. Tais efeitos foram confirmados pela análise de variância (anexo 6), apresentando valores de F altamente significativos, com significância de 5%; os efeitos da interação idade x posição também foram verificados, embora em menor intensidade. Estatisticamente, observaram-se diferenças significativas entre os valores médios de comprimento de fibras para todas as idades e todas as posições. Considerando-se os valores apresentados na tabela 10, verificou-se a maior variação dos valores (8,82%) entre as madeiras de dez e quatorze anos, seguida da variação de 3,60% entre as madeiras de quatorze e vinte e cinco anos; entre as madeiras de vinte e vinte e cinco anos, a variação foi de 3,47%. Como era de se esperar, o menor comprimento de fibra foi encontrado na madeira de dez anos e na região mais próxima da medula.

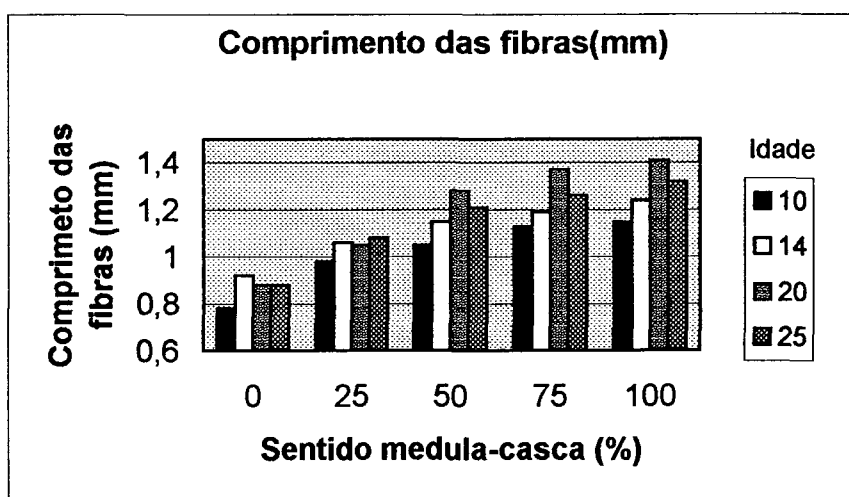
TABELA 10 - VALORES MÉDIOS DO COMPRIMENTO DAS FIBRAS (mm) DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis* DE DIFERENTES IDADES E POSIÇÕES NO SENTIDO MEDULA-CASCA

TRATAMENTO	N	MÉDIAS	TUKEY	CV (%)	DP (mm)
Idade 10 anos	1200	1,02	a ^{IV}	20,66	0,210
Idade 14 anos	1200	1,11	b	20,33	0,226
Idade 25 anos	1200	1,15	c	19,94	0,230
Idade 20 anos	1200	1,19	d	22,18	0,226
Posição 0% (M-C)	960	0,87	a	19,51	0,169
Posição 25% (M-C)	960	1,04	b	17,48	0,182
Posição 50% (M-C)	960	1,18	c	16,76	0,197
Posição 75% (M-C)	960	1,24	d	16,32	0,202
Posição 100% (M-C)	960	1,28	e	16,06	0,206
Interação idade X posição					
10 anos x posição 0%	240	0,78	a	19,01	0,149
25 anos x posição 0%	240	0,88	b	17,24	0,153
20 anos x posição 0%	240	0,89	b	16,37	0,145
14 anos x posição 0%	240	0,92	b	21,22	0,195
10 anos x posição 25%	240	0,98	c	14,84	0,146
14 anos x posição 25%	240	1,05	d	20,93	0,222
10 anos x posição 50%	240	1,05	d	15,85	0,167
20 anos x posição 25%	240	1,06	d	16,98	0,179
25 anos x posição 25%	240	1,08	de	14,88	0,161
10 anos x posição 75%	240	1,13	ef	15,55	0,175
14 anos x posição 50%	240	1,15	fg	17,43	0,201
10 anos x posição 100%	240	1,15	fg	15,97	0,183
14 anos x posição 75%	240	1,19	gh	14,79	0,175
25 anos x posição 50%	240	1,21	hi	13,81	0,167
14 anos x posição 100%	240	1,24	hij	14,77	0,183
25 anos x posição 75%	240	1,27	ij	14,65	0,186
20 anos x posição 50%	240	1,28	jl	13,93	0,178
25 anos x posição 100%	240	1,32	lm	12,98	0,172
20 anos x posição 75%	240	1,37	mn	13,48	0,185
20 anos x posição 100%	240	1,41	n	13,14	0,185
MÉDIA GERAL			1,12		

^{IV} Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, com significância de 5% ($p < 0,05$).

Segundo MAEGLIN (1987), ZOBEL e BUIJTENEN (1989), CARVALHO (1997), os valores reduzidos de dimensões de fibras podem indicar a presença de madeira juvenil, podendo trazer conseqüências diretas para a qualidade da madeira. O comprimento das fibras da madeira de dez anos foi 8,11% menor que o comprimento da fibra de quatorze anos e esta, por sua vez, foi 3,48% menor que o comprimento da madeira de vinte e cinco anos; o comprimento de fibra da madeira de vinte anos foi 3,36% maior que o encontrado na madeira de vinte e cinco anos. Tais valores confirmam a posição dos pesquisadores que o comprimento de fibra atinge um valor constante e tende a se estabilizar a partir de uma certa idade. O menor comprimento de fibra da madeira de vinte e cinco anos em relação à madeira de vinte anos pode ser explicado pela diversidade de material genético e pelas diferentes condições locais de crescimento e tratamentos silviculturais. A variação do comprimento das fibras pode ser melhor visualizada através da figura 14.

FIGURA 14 - VARIAÇÃO DO COMPRIMENTO DAS FIBRAS DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis* DE DIFERENTES IDADES E POSIÇÕES NO SENTIDO MEDULA-CASCA



Em relação à posição radial, verificou-se a maior variação dos valores (19,5%) entre as posições de 0 e 25%, correspondente à região próxima da medula, seguida da variação de 5,08% entre as posições de 50 e 75% e da variação de 3,23% entre as posições entre 75 e 100%; finalmente, observou-se uma variação de 1,13% entre as

posições de 25 e 50%. Independentemente das diferentes idades, todos os valores médios encontrados nas posições mais próximas da medula (posições 0 e 25%) foram inferiores à média geral. Na idade de dez anos, somente os valores encontrados nas posições mais próximas da casca (posições 75 e 100%) foram superiores à média geral. O maior comprimento de fibra foi encontrado na madeira de vinte anos, na região mais próxima da casca, com a mesma tendência observada para as variações de massa específica e, segundo TOMAZELLO FILHO (1985b), tal modelo de variação do comprimento das fibras é o mais comumente encontrado para as espécies de eucalipto.

Os valores de coeficiente de variação evidenciam uma certa homogeneidade entre as amostras utilizadas, situando-se entre os valores normalmente encontrados na literatura.

7.2.2.2 Largura das fibras

Os valores encontrados para a largura das fibras encontram-se entre os normalmente encontrados na literatura (KOKUREK e STEVENS, 1983; TOMAZELLO FILHO, 1985; SMOOK, 1987; D'ALMEIDA, 1988; CARVALHO, 1997; OLIVEIRA, 1997), dentro da faixa estabelecida como padrão, que varia de 12 e 20 μm (BARRICHELO e BRITO, 1976). O valor médio para a largura das fibras foi de 19,77 μm , sendo os limites superior e inferior, respectivamente, de 22,74 μm (idade de dez anos, na posição mais próxima da casca) e 17,32 μm (idade de vinte anos, na posição mais próxima da medula), com uma variação de 31,29%. Considerando-se os valores apresentados na tabela 11, verificou-se a maior variação dos valores (5,26%) entre as madeiras de dez e vinte e cinco anos, seguida da variação de 3,46% entre as madeiras de vinte e vinte e cinco anos; entre as madeiras de dez e quatorze anos, a variação foi de apenas 0,6%. Os dados apresentados na tabela 11 evidenciam uma diminuição na largura das fibras em função da idade mas, em contrapartida, apresenta um aumento das suas dimensões na direção radial, no sentido medula-casca. Tais efeitos foram observados na análise de variância (anexo 7), confirmando a influência da idade e, principalmente, da posição radial na largura das fibras, apresentando valores de F significativos, com significância de 5%; a influência da interação idade X

posição radial, também, foi verificada, embora em menor intensidade. Estatisticamente, observaram-se diferenças significativas entre os valores médios de largura de fibras para as idades de dez, vinte e vinte e cinco anos; tais diferenças, no entanto, não foram observadas entre as idades de dez e quatorze anos; entre todas as posições observaram-se diferenças significativas. As características da largura das fibras (μm) estão apresentadas na tabela 11.

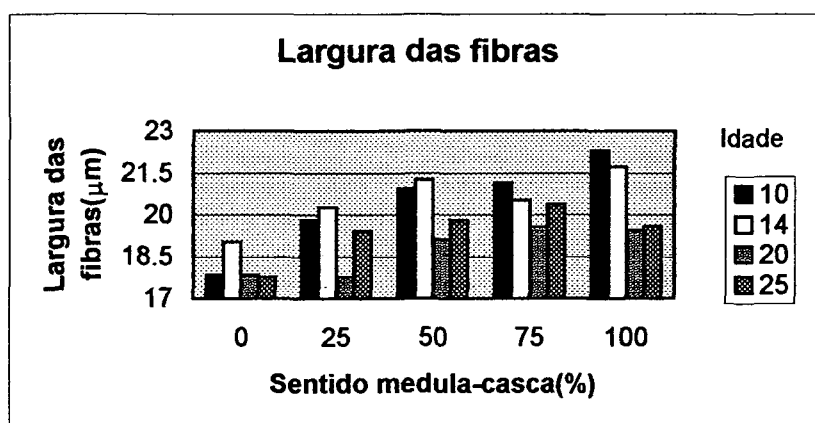
TABELA 11 - VALORES MÉDIOS DE LARGURA DAS FIBRAS (μm) DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis* DE DIFERENTES IDADES E POSIÇÕES NO SENTIDO MEDULA-CASCA

TRATAMENTO	N	MÉDIAS	TUKEY	CV (%)	DP (μm)
Idade 20 anos	1200	18,74	a ^{I/}	16,31	3,056
Idade 25 anos	1200	19,39	b	16,90	3,278
Idade 10 anos	1200	20,41	c	20,20	4,121
Idade 14 anos	1200	20,55	c	19,46	3,998
Posição 0% (M-C)	960	18,11	a	16,39	2,969
Posição 25% (M-C)	960	19,32	b	18,64	3,600
Posição 50% (M-C)	960	20,33	c	18,09	3,679
Posição 75% (M-C)	960	20,35	d	17,93	3,648
Posição 100% (M-C)	960	20,76	e	19,20	3,987
Interação idade X posição					
25 anos x posição 0%	240	17,76	a	15,16	2,692
20 anos x posição 0%	240	17,77	a	14,50	2,584
10 anos x posição 0%	240	17,82	a	15,56	2,775
20 anos x posição 25%	240	17,83	a	15,83	2,612
14 anos x posição 0%	240	19,03	b	18,61	3,542
20 anos x posição 50%	240	19,11	b	15,03	2,872
25 anos x posição 25%	240	19,43	bc	15,73	3,057
20 anos x posição 75%	240	19,45	bc	16,23	3,174
20 anos x posição 100%	240	19,56	bc	16,91	3,290
25 anos x posição 50%	240	19,59	bc	15,08	2,986
10 anos x posição 25%	240	19,81	bcd	20,393	4,040
25 anos x posição 75%	240	19,81	bcd	17,84	3,637
14 anos x posição 25%	240	20,25	cde	19,05	3,858
25 anos x posição 100%	240	20,38	cde	17,15	3,360
14 anos x posição 50%	240	20,51	cde	19,40	4,123
10 anos x posição 50%	240	20,93	def	19,38	4,102
10 anos x posição 75%	240	21,17	efg	17,11	3,581
14 anos x posição 75%	240	21,25	efg	19,66	4,034
14 anos x posição 100%	240	21,71	fg	17,97	3,902
10 anos x posição 100%	240	22,29	g	20,11	4,483
MÉDIA GERAL			19,77		

^{I/} Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, com significância de 5% ($p < 0,05$).

Segundo SHIMOYAMA (1990), o modelo de variação de largura das fibras em relação à idade acompanhou o modelo inverso para a massa específica, mas TOMAZELLO FILHO (1985b) verificou que o modelo de variação da largura das fibras no sentido medula-casca acompanha o modelo da massa específica e é o mais comumente encontrado para as espécies de eucalipto. A variação da largura das fibras no sentido radial pode ser melhor visualizada através da figura 15.

FIGURA 15 - VARIAÇÃO DA LARGURA DAS FIBRAS (μm) DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis* DE DIFERENTES IDADES E POSIÇÕES NO SENTIDO MEDULA-CASCA



Considerando-se os valores encontrados neste trabalho, em relação à posição radial, verificou-se a maior variação dos valores (6,68%) entre as posições de 0 e 25%, correspondente à região próxima da medula, seguida da variação de 5,22% entre as posições de 25 e 50% e da variação de 2,01% entre as posições de 75 e 100%; finalmente, observou-se uma variação mínima de 0,09% entre as posições de 50 e 75%; os valores médios da idade de quatorze anos foram superiores aos valores médios encontrados para as demais idades.

Os valores de coeficiente de variação evidenciam uma certa homogeneidade entre as amostras utilizadas, situando-se entre os valores normalmente encontrados na literatura.

7.2.2.3 Diâmetro do lume

As características dimensionais relativas ao diâmetro do lume das fibras (μm) estão apresentadas na tabela 12.

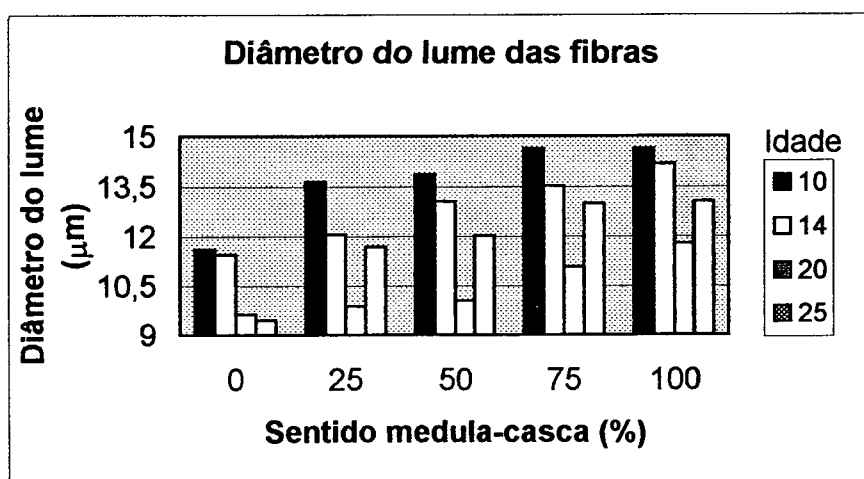
TABELA 12 - VALORES MÉDIOS DO DIÂMETRO DO LUME (μm) DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis* DE DIFERENTES IDADES E POSIÇÕES NO SENTIDO MEDULA-CASCA

TRATAMENTO	N	MÉDIAS	TUKEY	CV (%)	DP (μm)
Idade 20 anos	1200	10,64	a ^{1/}	29,00	3,087
Idade 25 anos	1200	11,84	b	27,27	3,228
Idade 10 anos	1200	12,85	c	30,29	3,891
Idade 14 anos	1200	13,67	c	27,51	3,761
Posição 0% (M-C)	960	11,79	a	23,92	2,821
Posição 25% (M-C)	960	11,79	a	30,39	3,583
Posição 50% (M-C)	960	11,80	a	36,45	4,301
Posição 75% (M-C)	960	12,63	b	27,62	3,488
Posição 100% (M-C)	960	13,23	c	29,07	3,847
Interação idade X posição					
25 anos x posição 0%	240	9,45	a	33,26	3,142
20 anos x posição 0%	240	9,62	a	35,77	3,440
20 anos x posição 25%	240	9,87	ab	29,66	2,926
20 anos x posição 50%	240	10,85	bc	24,43	2,651
20 anos x posição 75%	240	11,09	cd	28,78	3,191
14 anos x posição 0%	240	11,45	cd	34,12	3,908
10 anos x posição 0%	240	11,61	cd	23,04	2,675
25 anos x posição 25%	240	11,70	cd	22,06	2,581
20 anos x posição 100%	240	11,79	cd	22,38	2,638
25 anos x posição 50%	240	12,01	de	25,93	3,114
14 anos x posição 25%	240	12,06	de	27,49	3,316
25 anos x posição 75%	240	12,98	ef	21,82	2,834
14 anos x posição 50%	240	13,04	ef	29,06	3,789
25 anos x posição 100%	240	13,05	ef	23,53	3,071
14 anos x posição 75%	240	13,51	fg	26,40	3,566
10 anos x posição 25%	240	13,64	fgh	28,29	3,859
10 anos x posição 50%	240	13,85	fgh	22,69	3,142
14 anos x posição 100%	240	14,16	gh	29,85	4,228
10 anos x posição 75%	240	14,63	h	29,39	4,300
10 anos x posição 100%	240	14,63	h	25,97	3,800
MÉDIA GERAL			12,25		

^{1/} Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, com significância de 5% ($p < 0,05$).

Observou-se uma tendência de diminuição do diâmetro do lume com o aumento da idade, mas situação inversa foi observada no sentido medula-casca. Os valores encontrados para o diâmetro do lume das fibras foram ligeiramente superiores aos encontrados na literatura que, segundo BARRICHELO e BRITO (1976), variam de 6 a 12 μm . O valor médio para o diâmetro do lume das fibras foi de 12,25 μm , sendo os limites individuais superior e inferior, respectivamente, de 15,06 μm (idade de dez anos na posição mais próxima da casca) e 9,02 μm (idade de vinte e cinco anos na posição mais próxima da medula), com uma variação de 66,96%. Considerando-se os valores apresentados na tabela 12, verificou-se a maior variação dos valores (11,28%) entre as madeiras de vinte e vinte e cinco anos, seguida da variação de 8,53% entre as madeiras de dez e vinte e cinco anos; entre as madeiras de dez e quatorze anos, a variação foi de 6,38%. Pela análise de variância (anexo 8), verificou-se que o efeito da idade é muito mais pronunciado do que a variação radial no diâmetro do lume; com menor intensidade, também, se verificou que o diâmetro do lume sentiu os efeitos da interação entre idade e posição radial. A variação do diâmetro do lume no sentido radial pode ser melhor visualizada através da figura 16.

FIGURA 16 - VARIAÇÃO DO DIÂMETRO DO LUME DAS FIBRAS DA MADEIRA (μm) DE *Eucalyptus grandis* DE DIFERENTES IDADES E POSIÇÕES NO SENTIDO MEDULA-CASCA



Estatisticamente, não se observaram diferenças significativas entre os valores médios das posições 0, 25 e 50%, mas tais diferenças foram observadas entre as posições 50, 75 e 100%; quanto à idade, observaram-se diferenças significativas entre as idades de dez, vinte e vinte e cinco anos, mas não se observaram diferenças entre as idades de dez e quatorze anos. Todos os valores médios de todas as posições, no sentido medula-casca da madeira de vinte anos, foram inferiores à média geral.

Considerando-se os valores encontrados neste trabalho, em relação à posição radial, verificou-se a maior variação dos valores (7,03%) entre as posições de 50 e 75%, seguida da variação de 4,75% entre as posições de 75 e 100%; entre as posições de 0 e 25, 25 e 50% não houve variações. O modelo de variação para o diâmetro do lume em relação a posição radial, no sentido medula-casca, apresentou uma correlação direta com a massa específica e uma correlação inversa em relação à variação da idade.

Os valores de coeficiente de variação evidenciaram uma certa homogeneidade entre as amostras utilizadas, situando-se entre os valores normalmente encontrados na literatura.

7.2.2.4 Espessura da parede

Os dados apresentados evidenciam um aumento na espessura da parede em função da variação da idade e, principalmente, do sentido medula-casca. Os valores encontrados no presente trabalho estão em conformidade com os normalmente encontrados na literatura, inclusive dentro da faixa de variação estabelecida por BARRICHELO e BRITO (1976), que é de 2,5 a 6,0 μm . O valor médio para a espessura da parede das fibras foi de 3,76 μm sendo os limites individuais superior e inferior, respectivamente, de 5,21 μm (idade de vinte anos na posição mais próxima da casca) e 2,88 μm (idade de dez anos na posição mais próxima da medula), com uma variação de 80,9%. As características dimensionais relativas à espessura de parede das fibras (μm) estão apresentadas na tabela 13.

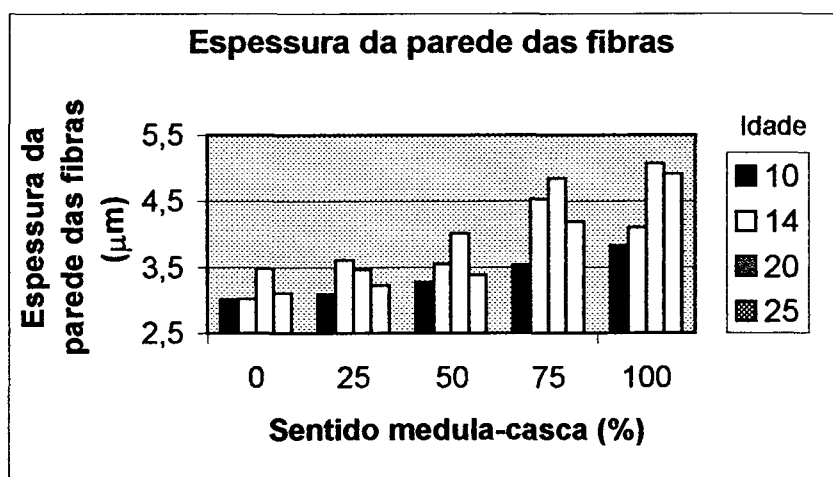
TABELA 13 - VALORES MÉDIOS DA ESPESSURA DA PAREDE (μm) DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis* DE DIFERENTES IDADES E POSIÇÕES NO SENTIDO MEDULA-CASCA

TRATAMENTO	N	MÉDIAS	TUKEY	CV (%)	DP (μm)
Idade 10 anos	1200	3,37	a ^{IV}	31,59	1,063
Idade 14 anos	1200	3,78	b	31,81	1,226
Idade 25 anos	1200	3,85	c	37,15	1,403
Idade 20 anos	1200	4,05	d	33,65	1,362
Posição 0% (M-C)	960	3,16	a	30,33	0,958
Posição 25% (M-C)	960	3,34	b	31,10	1,039
Posição 50% (M-C)	960	3,55	c	30,66	1,088
Posição 75% (M-C)	960	4,28	d	31,30	1,338
Posição 100% (M-C)	960	4,48	e	31,89	1,429
Interação idade X posição					
10 anos x posição 0%	240	3,01	a	24,82	0,748
14 anos x posição 0%	240	3,03	a	29,36	0,889
10 anos x posição 25%	240	3,09	a	30,72	0,948
25 anos x posição 0%	240	3,11	ab	32,79	1,019
25 anos x posição 25%	240	3,22	abc	28,44	0,916
10 anos x posição 50%	240	3,27	abcd	33,57	1,096
25 anos x posição 50%	240	3,38	abcd	31,84	1,075
20 anos x posição 0%	240	3,46	bcd	30,48	1,054
20 anos x posição 25%	240	3,48	cde	30,74	1,070
10 anos x posição 75%	240	3,54	cde	28,99	1,027
14 anos x posição 25%	240	3,55	cde	26,69	0,947
14 anos x posição 50%	240	3,60	de	31,95	1,151
10 anos x posição 100%	240	3,83	ef	27,09	1,038
20 anos x posição 50%	240	4,01	f	27,01	1,083
14 anos x posição 75%	240	4,10	f	30,56	1,245
25 anos x posição 75%	240	4,19	fg	30,90	1,293
14 anos x posição 100%	240	4,53	gh	29,60	1,341
20 anos x posição 75%	240	4,85	hi	27,05	1,311
25 anos x posição 100%	240	4,92	i	28,21	1,387
20 anos x posição 100%	240	5,07	i	31,37	1,591
MÉDIA GERAL			3,76		

^{IV} Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, com significância de 5% ($p < 0,05$).

Considerando-se os valores apresentados na tabela 13, verificou-se a maior variação dos valores (12,17%) entre as madeiras de dez e quatorze anos, seguida da variação de 1,85% entre as madeiras de quatorze e vinte e cinco anos; entre as madeiras de vinte e vinte e cinco anos, a variação foi de, apenas, 1,05%. Pela análise de variância (anexo 9), verificou-se que os efeitos da variação radial no sentido medula-casca foram muito mais pronunciados que a idade na espessura da parede; a influência da interação dos efeitos idade X posição radial, no sentido medula-casca também foi verificada, embora em menor intensidade. Estatisticamente, observaram-se diferenças significativas entre todas as posições e entre todas as idades. A variação da espessura da parede das fibras pode ser melhor visualizada através da figura 17.

FIGURA 17 - VARIAÇÃO DA ESPESSURA DA PAREDE DAS FIBRAS (μm) DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis* DE DIFERENTES IDADES E POSIÇÕES NO SENTIDO MEDULA-CASCA



Considerando-se os valores encontrados neste trabalho, em relação à posição radial, verificou-se a maior variação dos valores (20,56%) entre as posições de 50 e 75%, correspondente à região do cerne periférico, seguida da variação de 6,28% entre as posições de 25 e 50% e da variação de 5,70% entre as posições de 0 e 25%; finalmente, observou-se uma variação de 4,67% entre as posições de 75 e 100%. Todos os valores médios, independentemente das diferentes idades, encontrados nas posições mais próximas da medula (posições 0, 25 e 50% no sentido medula-casca) foram

inferiores à média geral. Na idade de dez anos, todos os valores encontrados em todas as posições estudadas foram inferiores à média geral. O modelo de variação apresentou uma correlação direta com a massa específica.

Os valores de coeficiente de variação foram baixos, evidenciando uma certa homogeneidade entre as amostras utilizadas, situando-se entre os valores normalmente encontrados na literatura.

7.2.2.5 Diâmetro tangencial dos vasos

Os dados apresentados na tabela 14 evidenciaram um aumento no diâmetro tangencial dos vasos em função da variação da idade e da posição radial, no sentido medula-casca. Os valores encontrados no presente trabalho estão em conformidade com os normalmente encontrados na literatura. O valor médio para o diâmetro tangencial dos vasos foi de 122,2 μm , sendo os limites individuais superior e inferior, respectivamente, de 162,3 μm (idade de vinte anos, na posição mais próxima da casca) e 76,8 μm (idade de dez anos na posição mais próxima da medula), com uma variação de 211,3%. Considerando-se os valores apresentados na tabela 14, verificou-se a maior variação dos valores (11,6%) entre as madeiras de vinte e vinte e cinco anos, seguida da variação de 4,59% entre as madeiras de dez e quatorze anos; entre as madeiras de quatorze e vinte e cinco anos, a variação foi de 2,53%. Pela análise de variância (anexo 10), verificou-se que os efeitos da variação radial no sentido medula-casca foram muito mais pronunciados que os efeitos da idade; a influência da interação dos efeitos idade X posição radial também foi verificada, embora em menor intensidade. Estatisticamente, verificou-se que a madeira de vinte anos diferiu de todas as demais, mais tais diferenças não foram observadas entre as madeiras de dez, quatorze e vinte e cinco anos. Quanto à variação radial, não se observaram diferenças significativas entre as posições correspondentes a 75 e 100% no sentido medula-casca, mas tais diferenças foram observadas entre todas as demais posições. As características dimensionais relativas ao diâmetro tangencial dos vasos (μm) estão apresentadas na tabela 14.

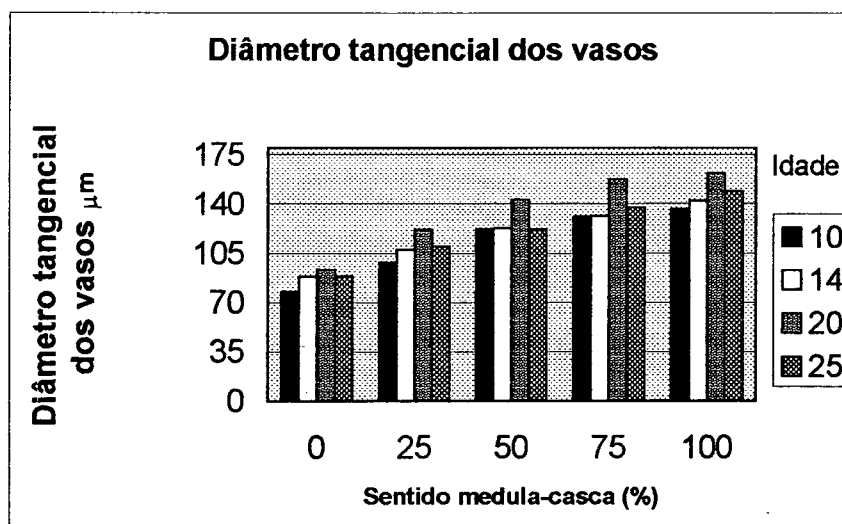
TABELA 14 - VALORES MÉDIOS DO DIÂMETRO TANGENCIAL DOS VASOS (μm) DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis* DE DIFERENTES IDADES E POSIÇÕES NO SENTIDO MEDULA-CASCA

TRATAMENTO	N	MÉDIAS	TUKEY	CV (%)	DP (μm)
Idade 10 anos	60	113,3	a ^{I/}	24,06	27,305
Idade 14 anos	60	118,5	ab	21,48	25,449
Idade 25 anos	60	121,5	b	19,68	23,915
Idade 20 anos	60	135,6	c	22,19	30,086
Posição 0% (M-C)	48	87,1	a	20,15	17,552
Posição 25% (M-C)	48	109,4	b	13,97	15,283
Posição 50% (M-C)	48	127,6	c	12,14	15,496
Posição 75% (M-C)	48	139,5	d	13,67	19,065
Posição 100% (M-C)	48	147,4	d	13,60	20,041
Interação idade X posição					
10 anos x posição 0%	12	77,9	a	16,22	12,637
14 anos x posição 0%	12	88,4	a	25,97	22,958
25 anos x posição 0%	12	88,8	a	17,27	15,340
20 anos x posição 0%	12	93,5	a	17,00	15,895
10 anos x posição 25%	12	98,2	ab	8,11	7,965
14 anos x posição 25%	12	107,6	b	17,41	18,736
25 anos x posição 25%	12	110,1	b	9,27	10,211
20 anos x posição 25%	12	121,7	c	10,77	13,110
25 anos x posição 50%	12	122,1	c	7,66	9,355
10 anos x posição 50%	12	122,5	c	10,36	12,688
14 anos x posição 50%	12	122,8	c	12,18	14,962
10 anos x posição 75%	12	131,2	d	14,33	18,801
14 anos x posição 75%	12	131,5	d	11,97	15,745
10 anos x posição 100%	12	136,6	de	18,13	24,767
25 anos x posição 75%	12	137,7	de	8,55	11,774
14 anos x posição 100%	12	142,0	e	9,89	14,038
20 anos x posição 50%	12	143,1	e	9,99	14,296
25 anos x posição 100%	12	148,9	f	6,24	9,293
20 anos x posição 75%	12	157,6	g	11,11	17,503
20 anos x posição 100%	12	161,9	g	12,76	20,656
MÉDIA GERAL			122,2		

^{I/} Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, com significância de 5% ($p < 0,05$).

A variação do diâmetro tangencial dos vasos pode ser melhor visualizada através da figura 18.

FIGURA 18 - VARIAÇÃO DO DIÂMETRO TANGENCIAL DE VASOS (μm) DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis* DE DIFERENTES IDADES E POSIÇÕES NO SENTIDO MEDULA-CASCA



Todos os valores médios, independentemente das diferentes idades, encontrados nas posições mais próximas da medula (posições 0, 25 e 50% no sentido medula-casca) foram inferiores à média geral, evidenciando a presença de vasos com menores dimensões na parte mais interna da madeira.

7.2.2.6 Frequência dos vasos

Os valores encontrados para a frequência de vasos encontram-se em conformidade com os normalmente encontrados na literatura. O valor médio para a frequência de vasos foi de 10,71 poros por milímetro quadrado, sendo os limites individuais inferior e superior, respectivamente, de 6,42 poros (idade de vinte anos, na posição mais próxima da casca) e 18,12 poros (idade de quatorze anos, na posição mais próxima da medula). Os valores médios de frequência de vasos (poros/ mm^2) estão apresentados na tabela 15.

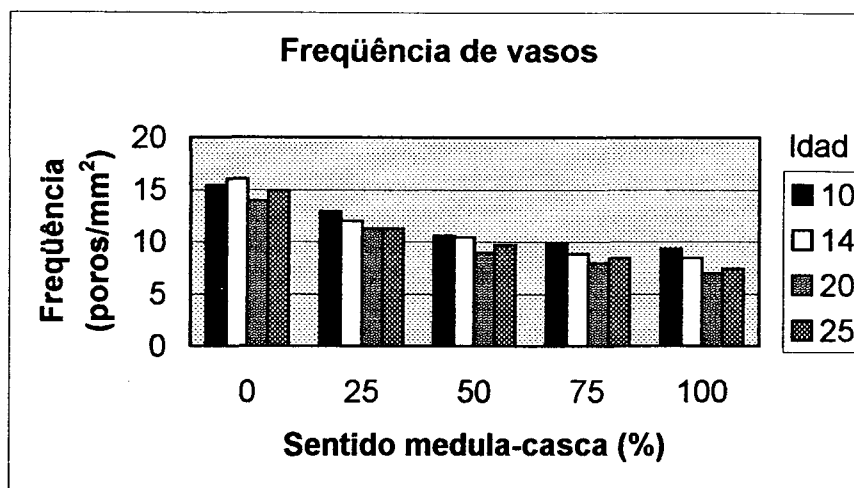
TABELA 15 - VALORES MÉDIOS DE FREQUÊNCIA DE VASOS (poros/mm²)
DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis* DE DIFERENTES IDADES
E POSIÇÕES NO SENTIDO MEDULA-CASCA

TRATAMENTO	N	MÉDIAS	TUKEY	CV (%)	DP (poros/mm ²)
Idade 10 anos	60	11,58	a ^{1/}	23,93	2,872
Idade 14 anos	60	11,14	ab	30,85	3,394
Idade 25 anos	60	10,33	bc	27,53	2,753
Idade 20 anos	60	9,82	c	37,6	3,384
Posição 0% (M-C)	48	15,06	a	19,23	2,885
Posição 25% (M-C)	48	11,86	b	16,36	1,963
Posição 50% (M-C)	48	9,89	c	13,22	1,322
Posição 75% (M-C)	48	8,72	d	16,01	1,441
Posição 100% (M-C)	48	8,04	d	19,25	1,540
Interação idade X posição					
20 anos x posição 100%	12	6,96	a	10,28	0,716
25 anos x posição 100%	12	7,42	ab	9,21	0,683
20 anos x posição 75%	12	7,97	abc	19,62	1,563
25 anos x posição 75%	12	8,42	abc	6,42	0,541
14 anos x posição 100%	12	8,42	abc	8,50	0,716
14 anos x posição 75%	12	8,79	abcd	15,07	1,325
20 anos x posição 50%	12	8,97	abcd	14,61	1,311
10 anos x posição 100%	12	9,34	abcd	23,80	2,223
25 anos x posição 50%	12	9,62	bcde	6,42	0,828
10 anos x posição 75%	12	9,71	bcde	16,61	1,612
14 anos x posição 50%	12	10,44	cdef	8,61	0,828
10 anos x posição 50%	12	10,53	cdef	10,53	1,098
20 anos x posição 25%	12	11,26	def	13,68	1,441
25 anos x posição 25%	12	11,26	efg	19,57	2,204
14 anos x posição 25%	12	11,99	gh	6,06	0,683
10 anos x posição 25%	12	12,91	hi	20,84	2,500
20 anos x posição 0%	12	13,91	ij	13,15	1,698
25 anos x posição 0%	12	14,92	ij	6,63	0,989
10 anos x posição 0%	12	15,38	ij	12,18	1,874
14 anos x posição 0%	12	16,02	jl	20,35	3,261
MÉDIA GERAL			10,71		

^{1/} Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, com significância de 5% ($p < 0,05$).

Os valores encontrados no presente trabalho evidenciaram uma maior concentração de vasos na região mais próxima da medula. A variação da frequência de vasos pode ser melhor visualizada através da figura 19.

FIGURA 19 - VARIAÇÃO DA FREQUÊNCIA DE VASOS (poros/mm²) DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis* DE DIFERENTES IDADES E POSIÇÕES NO SENTIDO MEDULA-CASCA



Os dados evidenciam uma diminuição na frequência de vasos em função da idade e da direção radial, no sentido medula-casca. Tais efeitos foram observados na análise de variância (anexo 11), confirmando a influência da idade e, principalmente, da posição radial, apresentando valores de F significativos, com significância de 5%; a influência da interação idade X posição radial, no sentido medula-casca também foi verificada, embora em menor intensidade. Estatisticamente, observaram-se diferenças significativas entre os valores médios de frequência de vasos para as idades de dez, vinte e vinte e cinco anos; tais diferenças, no entanto, não foram observadas entre as idades de dez e quatorze anos; observaram-se diferenças significativas entre todas as posições, à exceção das posições de 75 e 100%.

Os valores de coeficiente de variação evidenciam uma certa homogeneidade entre as amostras utilizadas, situando-se entre os valores normalmente encontrados na literatura.

8 RETRATIBILIDADE

A madeira é um material orgânico, de estrutura complexa e heterogênea, que aumenta e diminui as suas dimensões, de acordo com a umidade do ambiente. Essa variação no teor de umidade afeta a geometria das peças em serviço e, por consequência, as características de resistência mecânica dos elementos estruturais. Na maioria das madeiras de eucalipto, ocorre uma elevada anisotropia dimensional, tornando-se imprescindível o conhecimento dos mecanismos físicos que regem os fenômenos de retratibilidade. Tal conhecimento servirá de subsídio para a correta condução do processo de secagem e utilização final do produto, com o intuito de minimizar ou, mesmo, eliminar a ocorrência de possíveis defeitos da madeira.

DURLO e MARCHIORI (1992) asseguraram que as variações dimensionais e a anisotropia são características indesejáveis da madeira, limitando o seu uso para diversas finalidades, exigindo, por isso, técnicas específicas de processamento e utilização. Segundo VITAL e TRUGILHO (1997), as variações dimensionais, provocadas pela contração e inchamento da madeira, ocorrem quando há flutuações na umidade da madeira a um ponto abaixo da umidade de saturação das fibras, correspondendo às alterações na quantidade de água de impregnação; acima desse ponto, as alterações se resumem, tão somente, a pequenas oscilações de peso, sem alterações nas dimensões. Segundo os mesmos autores, as variações dimensionais se devem ao ligamento ou desprendimento de moléculas de água às microfibrilas da parede celular.

Segundo PANSWIN e DE ZEUD (1980), as contrações longitudinais e transversais variam, basicamente, de acordo com a interação da quantidade de substância madeira, com a média do ângulo microfibrilar nas paredes das células, em relação ao eixo longitudinal da célula, e com a extensão da lignificação da parede da célula. A contração, como resultado da perda de água, ocorre quase inteiramente entre as microfibrilas, nos vazios existentes dentro da parede da célula. O reforço das microfibrilas deforma a matriz contraída e produz alterações desiguais no comprimento e na espessura da parede das células, causando mudanças dimensionais

laterais consideráveis e pequenas mudanças longitudinais na madeira, onde os ângulos das microfibrilas são pequenos. Quando tais ângulos são grandes, o componente de contração longitudinal aumenta e o componente de contração transversal na parede da célula diminui. PANSIN e DE ZEIJL (1980), MOREIRA (1999) afirmaram que as contrações ocorrem mais intensamente no sentido transversal das fibras do que no longitudinal, em função de sua característica anisotrópica; afirmaram, ainda, que a maior alteração dimensional da madeira se manifesta no sentido tangencial aos anéis de crescimento, seguida pela dimensão radial e, praticamente, desprezível no sentido longitudinal. Segundo KLOCK (2000), a pequena alteração nas dimensões no sentido longitudinal, em relação às demais dimensões, se deve à organização vertical da maioria dos elementos estruturais constituintes da madeira, o que faz com que o número de paredes por centímetro quadrado seja bem menor nesse sentido. A camada S2 é mais espessa e mais rica em celulose que as demais, tornando-se a principal responsável pela contração no sentido transversal.

Segundo DURLO e MARCHIORI (1992), o mais importante índice para se avaliar a estabilidade dimensional da madeira é o coeficiente ou fator anisotrópico, definido pela relação entre as contrações tangencial e radial (T/R). Tal relação, freqüentemente, explica as deformações da madeira que ocorrem durante a secagem. LELLES e SILVA (1997) afirmaram que, em geral, observa-se que a contração na direção tangencial é, aproximadamente, 1,5 a 2 vezes maior do que a que ocorre na direção radial, situação muito freqüente para a maioria das madeiras do gênero *Eucalyptus*. A utilização da madeira para produtos finais de alta estabilidade requer um fator anisotrópico baixo. Segundo os mesmos autores, uma anisotropia de contração igual a 1 representa uma alteração igual de dimensões nos sentidos radial e tangencial, situação considerada ideal e que não provocaria formação de tensões internas. Quanto maiores forem os desvios nesses dois sentidos, mais alta será a anisotropia de contração e maiores serão os danos na madeira na fase de secagem. DURLO e MARCHIORI (1992) estabeleceram a seguinte classificação da madeira em função dos seus coeficientes de anisotropia:

- 1,2 a 1,5 - considerada excelente, ocorrendo em madeiras como cedro, sucupira, mogno, balsa, entre outras espécies;
- 1,5 a 2,0 - considerada normal, ocorrendo em madeiras como ipê, pinus, peroba rosa, teca, entre outras espécies;
- acima de 2,0 – considerada como ruim, que poderá ocorrer em madeiras de araucária, imbuia, álamo, jatobá, entre outras espécies.

O fator anisotrópico, tomado de forma isolada, no entanto, não caracteriza uma madeira como sendo estável, causando, ao contrário, uma falsa sensação de estabilidade. Coeficientes de anisotropia de contração baixos, oriundos de contrações tangencial e radial elevadas, revelam uma madeira com alta instabilidade dimensional (ROCHA, 2000). Um exemplo típico é o caso da madeira de *Eucalyptus grandis*, que pode apresentar um coeficiente de anisotropia muito baixo e, até mesmo, inferior a espécies reconhecidamente muito estáveis, como o mogno e o cedro, mas de reconhecida instabilidade dimensional.

Inúmeros pesquisadores procuraram a explicação da anisotropia da madeira, através de sua estrutura anatômica. Consideraram que a contração e a expansão diferenciadas nas diferentes direções de crescimento são atribuídas, principalmente, à estrutura da parede celular e, em parte, à presença dos raios que dificultam a variação no sentido radial. SKAAR (1972) verificou que, a nível microscópico, o comportamento da madeira depende da largura dos anéis, da proporção do lenho inicial e tardio, da orientação das fibras e dos raios; a nível submicroscópico, a inclinação das microfibrilas é considerada a principal responsável pelo comportamento da madeira. Segundo TSOUNIS (1991), a estrutura anatômica é a principal responsável para a contração e o inchamento anisotrópico. ZHANG (1994) observou que a contração volumétrica depende dos diferentes tecidos anatômicos da matéria lenhosa, principalmente da porcentagem de fibras e pela proporção do parênquima axial e dos vasos.

Segundo KOLLMAN e CÔTÉ (1968), a diferença entre a retratibilidade tangencial e a radial em algumas espécies pode ser explicada pela influência restritiva dos raios na direção radial e pelo arranjo helicoidal das microfibrilas nas paredes

tangenciais e radiais. Uma das causas das propriedades anisotrópicas da madeira é a orientação das micelas, fibrilas e fibras que formam o tecido lenhoso. MASSERAN e MARIAUX (1985) afirmaram que o volume dos raios, a dimensão radial das fibras, bem como as diferenças químicas entre as paredes radiais e tangenciais são responsáveis pela anisotropia da madeira. Segundo TSOUMIS (1991), VITAL e TRUGILHO (1997), ROCHA (2000), a magnitude da variação dimensional é normalmente maior para madeiras de maior massa específica, devido à maior quantidade de madeira por unidade de volume observado; além disso, madeiras de maior massa específica, para um mesmo teor de umidade, contêm mais água na parede celular. MOREIRA (1999), em estudo com madeiras de várias espécies, verificou que a contração radial e volumétrica aumentaram no sentido medula-casca, como um reflexo do aumento da massa específica. HILLIS e BROWN (1988) afirmaram que as madeiras de *Eucalyptus* spp., de crescimento rápido, normalmente, apresentam uma contração excessiva e, conseqüentemente, vários defeitos de secagem, como empenamentos e fendilhamentos. PANSIN e DE ZEIJW (1980) afirmaram que, na madeira juvenil, a contração é maior mais próximo da medula, diminuindo rapidamente no sentido medula-casca. Tal variação na fase de crescimento juvenil está relacionada à redução do ângulo microfibrilar na parede celular, com o aumento do comprimento da célula e com o aumento do teor de celulose. Na madeira madura normal, as contrações transversais e volumétricas estão diretamente relacionadas com a massa específica, comprimento das fibras, ângulo microfibrilar das paredes celulares e teor de extrativos presentes no cerne. Segundo MOREIRA (1999), o cerne contrai menos que o alburno, embora contenha maior teor de extrativos. A redução da contração ocorre quando moléculas de extrativos muito pequenas penetram nos espaços internos na parede celular e ocupam os sítios até então disponíveis para adsorção de água.

HILLIS e BROWN (1978) reiteram que a madeira do gênero *Eucalyptus*, oriunda de árvores jovens e de rápido crescimento, apresenta dificuldades de utilização, devido às contrações excessivas, que são seguidas de defeitos, como rachaduras e empenamentos. LIMA (1995), estudando madeira de *Eucalyptus*

microcorys, de vinte anos de idade, verificou que a contração volumétrica total e parcial se mostrava positivamente correlacionada com a massa específica básica, de forma bastante significativa.

HILLIS E BROWN (1988), OLIVEIRA (1997) mencionaram a utilização da madeira de *Eucalyptus citriodora*, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*, em assoalhos industriais e residenciais, apesar dos elevados coeficientes de contração apresentados por essas espécies. Inúmeros trabalhos já foram realizados para se estudar a retratibilidade da madeira de *Eucalyptus grandis*. O quadro 3 apresenta uma síntese de algumas experiências de retratibilidade já realizadas com a espécie.

QUADRO 2 - EXPERIÊNCIAS DE CONTRAÇÕES LINEARES E VOLUMÉTRICAS COM MADEIRAS DE *Eucalyptus grandis* DE DIFERENTES IDADES

IDADE (anos)	CONTRAÇÕES				T/R	REFERÊNCIAS
	Radial	Tangencial	Axial	Volumétrica		
4	3,22	6,68	0,22	9,53	2,17	VITAL e TRUGILHO (1997)
10	3,90	7,9	0,30	12,1	2,02	CALORI et al. (1995)
12	7,70	10,6	0,30	17,7	1,40	ROCHA (2000)
16	5,00	10,1	0,40	15,9	2,10	OLIVEIRA (1997)
18	5,80	10,4	0,30	18,9	1,79	ACOSTA (1999)
19	5,50	11,6	0,40	18,8	2,10	LELLES & SILVA (1997)
21	5,20	8,6	0,30	14,2	1,65	CARMO (1996)
23	5,70	8,2	0,10	14,1	1,43	CALORI et al. (1995)

8.1 MATERIAL E MÉTODOS

Para os ensaios de retratibilidade, utilizaram-se as duas primeiras toras de cada uma das dezesseis árvores (quatro para cada idade), quando se tomaram quatro posições equidistantes da prancha diametral (0, 33, 66 e 100%) no sentido medula-casca, com seis repetições por posição, totalizando 768 amostras. As amostras, de formato retangular, apresentaram dimensões de 1,0 x 2,0 x 3,0 cm, sendo a última medida no sentido longitudinal. As dimensões lineares foram tomadas com pálmer e paquímetro digital, com precisão de 0,01cm.

8.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO

8.2.1 Contração volumétrica total

Os valores médios de contração volumétrica total estão apresentados na tab. 16.

TABELA 16 - VALORES MÉDIOS DE CONTRAÇÃO VOLUMÉTRICA TOTAL (%) DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis*, DE DIFERENTES IDADES E POSIÇÕES NO SENTIDO MEDULA-CASCA

TRATAMENTO	N	MÉDIAS	TUKEY	CV (%)	DP (%)
Idade 10 anos	192	15,91	a ^{I/}	27,43	4,35
Idade 25 anos	192	18,25	b	21,88	3,99
Idade 14 anos	192	18,68	b	21,33	3,98
Idade 20 anos	192	19,61	c	19,10	3,74
Posição 0% (M-C)	192	14,68	a	20,85	3,06
Posição 33% (M-C)	192	16,62	b	19,52	3,24
Posição 66% (M-C)	192	18,86	c	23,44	4,24
Posição 100% (M-C)	192	22,30	d	14,39	3,21
Interação idade X posição					
10 anos x posição 0%	48	12,36	a	9,86	1,21
10 anos x posição 33%	48	13,76	ab	16,00	2,20
14 anos x posição 0%	48	14,37	bc	15,19	2,18
25 anos x posição 0%	48	15,76	cd	8,39	1,32
25 anos x posição 33%	48	15,77	cd	14,52	2,28
14 anos x posição 33%	48	15,78	cd	15,54	2,45
10 anos x posição 66%	48	16,20	cd	25,74	4,17
20 anos x posição 0%	48	17,21	d	16,53	2,84
10 anos x posição 100%	48	19,18	e	17,43	3,34
20 anos x posição 33%	48	19,75	e	14,81	2,92
14 anos x posição 66%	48	20,11	ef	8,957	1,80
25 anos x posição 66%	48	20,34	efg	12,15	2,47
14 anos x posição 100%	48	21,73	fgh	16,45	3,57
20 anos x posição 66%	48	22,11	gh	12,03	2,66
25 anos x posição 100%	48	22,52	h	12,03	2,70
20 anos x posição 100%	48	22,83	h	16,43	3,75
MÉDIA GERAL			18,11		

^{I/} Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente, pelo teste de Tukey, com significância de 5% ($p < 0,05$).

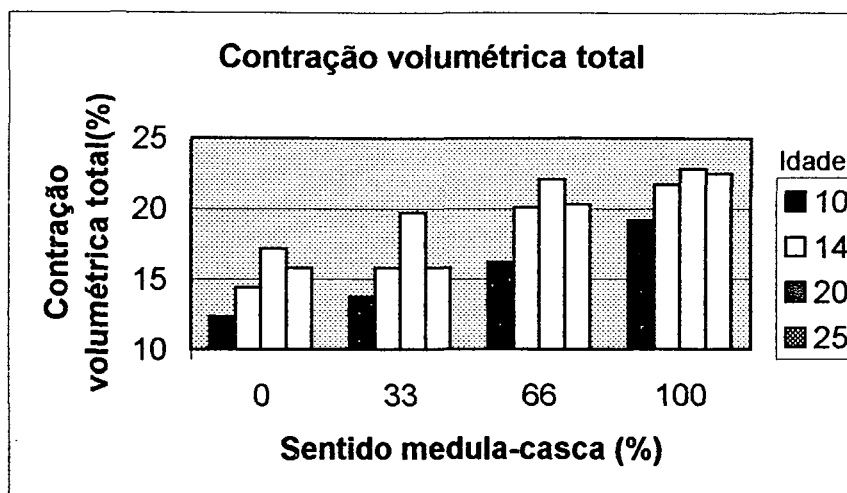
Os valores encontrados no presente trabalho foram ligeiramente superiores aos normalmente encontrados na literatura. Observou-se uma tendência de crescimento dos valores em função da idade e da posição radial, no sentido medula-casca. O valor médio para contração volumétrica total foi de 18,11%, sendo os limites inferior e superior, respectivamente, de 11,59% (idade de dez anos na posição mais próxima da medula) e 23,30% (idade de vinte anos na posição mais próxima da casca), com uma variação de 101,0%. Pela análise de variância (anexo 12), verificou-se que os efeitos da variação radial no sentido medula-casca foram muito mais pronunciados que o efeito da idade na contração volumétrica total; a interação desses efeitos teve muito pouca influência na definição dos valores. Estatisticamente, observaram-se diferenças entre todas as posições; tais diferenças, também, foram observadas entre as idades de dez, quatorze e vinte e cinco anos, mas não foram encontradas entre as idades de quatorze e vinte e cinco anos. O modelo de variação de contração volumétrica total acompanhou o modelo de variação para a massa específica, confirmando as citações da literatura. Assim, a magnitude da variação dimensional foi maior para as madeiras de maior massa específica, devido à maior quantidade de madeira por unidade de volume. Tais considerações são válidas, uma vez que a contração volumétrica total se mostrou altamente correlacionada com a massa específica ($R = 0,60$), conforme os dados apresentados no anexo 19.

Os valores médios de todas as idades na região mais próxima da medula foram inferiores à média geral.

Verificou-se que a maior contração volumétrica total ocorreu nas madeiras de maior idade e na região mais próxima da casca, com valores extremamente altos, indicando alta instabilidade dimensional. Os valores de coeficiente de variação foram baixos, evidenciando uma certa homogeneidade entre as amostras utilizadas, situando-se entre os valores normalmente encontrados na literatura. Verificou-se que a variabilidade tendeu a crescer com a idade e a diminuir com o sentido medula-casca.

A variação da contração volumétrica total pode ser melhor visualizada através da figura 20.

FIGURA 20 - VARIAÇÃO DA CONTRAÇÃO VOLUMÉTRICA TOTAL (%) DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis* DE DIFERENTES IDADES E POSIÇÕES NO SENTIDO MEDULA-CASCA



8.2.2 Contração radial total

Os valores encontrados no presente trabalho estão em conformidade com os normalmente encontrados na literatura. Observou-se uma tendência de crescimento dos valores em função da idade e da posição radial, no sentido medula-casca. O valor médio para contração radial total foi de 6,09%, sendo os limites superior e inferior, respectivamente, de 8,18% (idade de vinte anos na posição mais próxima da casca) e 3,72% (idade de dez anos na posição mais próxima da medula), com uma variação de 120,0%. Pela análise de variância (anexo 13), verificou-se que os efeitos da variação radial no sentido medula-casca foram muito mais pronunciados que a idade na contração radial total; a interação desses efeitos teve muito pouca influência na definição dos valores. %. Os valores médios percentuais da contração radial total estão apresentados na tabela 17.

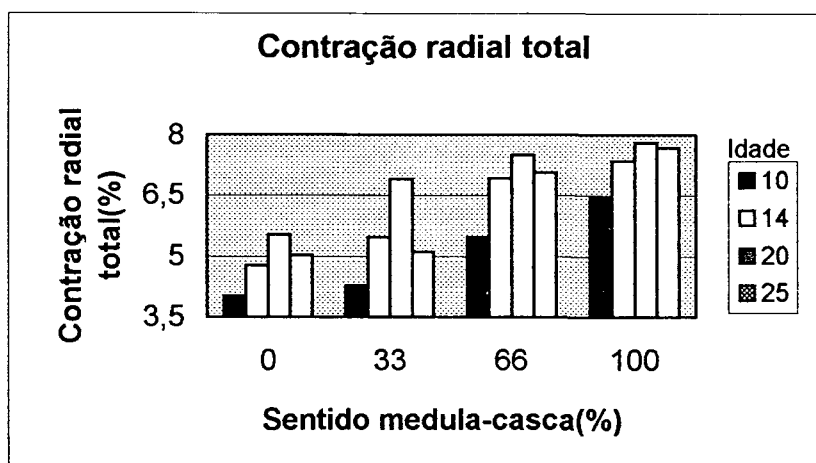
TABELA 17 - VALORES MÉDIOS DE CONTRAÇÃO RADIAL TOTAL (%)
DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis*, DE DIFERENTES IDADES
E POSIÇÕES NO SENTIDO MEDULA-CASCA

TRATAMENTO	N	MÉDIAS	TUKEY	CV (%)	DP (%)
Idade 10 anos	192	5,35	a ^{1/}	27,73	1,51
Idade 25 anos	192	6,00	b	29,51	1,79
Idade 14 anos	192	6,29	b	26,85	1,70
Idade 20 anos	192	6,72	c	23,70	1,60
Posição 0% (M-C)	192	4,75	a	29,60	1,39
Posição 33% (M-C)	192	5,65	b	27,10	1,53
Posição 66% (M-C)	192	6,44	c	21,13	1,36
Posição 100% (M-C)	192	7,51	d	17,37	1,30
Interação idade X posição					
10 anos x posição 0%	48	4,01	a	19,84	0,81
10 anos x posição 33%	48	4,27	ab	21,85	0,93
14 anos x posição 0%	48	4,77	abc	24,77	1,18
25 anos x posição 0%	48	5,03	bc	15,82	0,79
25 anos x posição 33%	48	5,11	bc	26,64	1,36
14 anos x posição 33%	48	5,46	c	15,54	0,84
10 anos x posição 66%	48	5,46	c	23,32	1,27
20 anos x posição 0%	48	5,53	c	33,31	1,84
10 anos x posição 100%	48	6,48	d	25,30	1,64
20 anos x posição 33%	48	6,90	de	18,20	1,25
14 anos x posição 66%	48	6,93	def	15,10	1,04
25 anos x posição 66%	48	7,06	def	17,03	1,20
14 anos x posição 100%	48	7,35	def	19,78	1,45
20 anos x posição 66%	48	7,50	ef	19,41	1,45
25 anos x posição 100%	48	7,68	ef	13,60	1,04
20 anos x posição 100%	48	7,81	f	17,98	1,40
MÉDIA GERAL			6,09		

^{1/} Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente, pelo teste de Tukey, com significância de 5% ($p < 0,05$).

A variação da contração radial total pode ser melhor visualizada através da figura 21.

FIGURA 21 - VARIAÇÃO DA CONTRAÇÃO RADIAL TOTAL (%) DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis* DE DIFERENTES IDADES E POSIÇÕES NO SENTIDO MEDULA-CASCA



Verificou-se que a maior contração radial ocorreu nas madeiras de maior idade e na região mais próxima da casca. Estatisticamente, observaram-se diferenças significativas entre todas as posições e, entre as idades, tais diferenças foram observadas entre dez, quatorze e vinte anos, mas não foram detectadas entre quatorze e vinte e cinco anos. Na idade de dez anos, verificaram-se os valores mais baixos de contração; nas demais idades, verificaram-se valores inferiores à média geral, principalmente nas posições mais próximas da medula. Verificou-se que o efeito de contração é mais reduzido junto às regiões mais próximas da medula e nas idades mais jovens, caracterizando a presença de madeira juvenil. O modelo de variação de contração radial total acompanhou o modelo de variação para a massa específica, confirmando as citações da literatura. Assim, a magnitude da variação dimensional foi maior para as madeiras de maior massa específica, devido à maior quantidade de madeira por unidade de volume. A contração radial se mostrou correlacionada com a massa específica ($R = 0,51$), conforme os dados apresentados no anexo 19. Os valores de coeficiente de variação foram relativamente baixos, evidenciando uma certa homogeneidade entre as amostras utilizadas.

8.2.3 Contração tangencial total

Os valores médios de contração tangencial total estão apresentados na tabela 18.

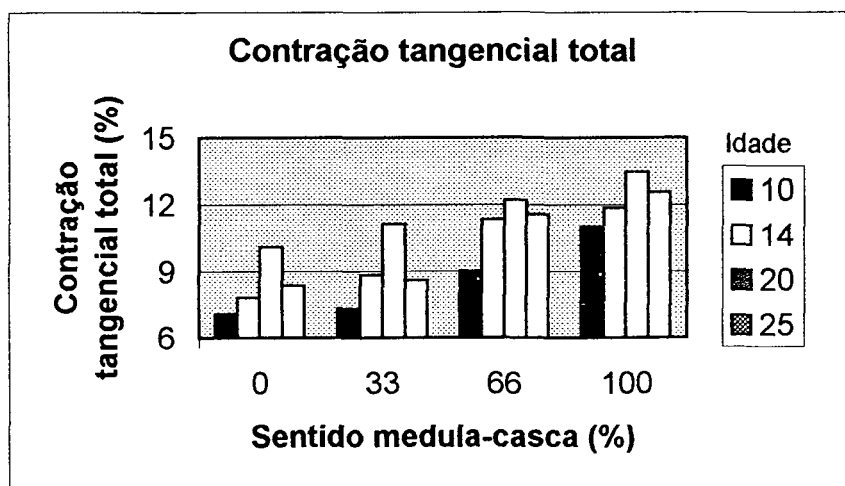
TABELA 18 - VALORES MÉDIOS DE CONTRAÇÃO TANGENCIAL TOTAL (%)
DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis*, DE DIFERENTES IDADES E
POSIÇÕES NO SENTIDO MEDULA-CASCA

TRATAMENTO	N	MÉDIAS	TUKEY	CV (%)	DP (%)
Idade 10 anos	192	8,85	a ^{1/}	30,67	2,77
Idade 25 anos	192	9,90	b	20,49	2,04
Idade 14 anos	192	10,66	c	22,47	2,42
Idade 20 anos	192	13,14	c	23,56	2,66
Posição 0% (M-C)	192	8,06	a	20,75	1,66
Posição 33% (M-C)	192	9,23	b	24,29	2,28
Posição 66% (M-C)	192	10,69	c	19,19	2,05
Posição 100% (M-C)	192	12,52	d	16,34	2,04
Interação idade X posição					
10 anos x posição 0%	48	7,06	a	17,73	1,25
10 anos x posição 33%	48	7,30	ab	20,05	1,46
14 anos x posição 0%	48	7,81	abc	12,65	0,98
25 anos x posição 0%	48	8,36	abc	17,96	1,50
25 anos x posição 33%	48	8,57	bc	10,15	0,87
14 anos x posição 33%	48	8,83	cd	19,31	1,70
10 anos x posição 66%	48	9,00	cd	23,92	2,15
20 anos x posição 0%	48	10,08	de	21,59	2,17
10 anos x posição 100%	48	11,01	ef	20,82	2,29
20 anos x posição 33%	48	11,15	ef	21,60	2,40
14 anos x posição 66%	48	11,35	efg	12,50	1,41
25 anos x posição 66%	48	11,58	fg	12,50	1,44
14 anos x posição 100%	48	11,86	fg	8,891	1,05
20 anos x posição 66%	48	12,22	fgh	20,41	2,49
25 anos x posição 100%	48	12,55	gh	13,04	1,63
20 anos x posição 100%	48	13,46	h	17,40	2,34
MÉDIA GERAL			10,14		

^{1/} Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente, pelo teste de Tukey, com significância de 5% (p<0,05).

Os valores encontrados no presente trabalho estão em conformidade com os normalmente encontrados na literatura. Observou-se uma tendência de crescimento dos valores em função da idade e da posição radial, no sentido medula-casca. O valor médio para contração tangencial total foi de 10,14%, sendo os limites superior e inferior, respectivamente, de 13,97% (idade de vinte anos na posição mais próxima da casca) e 6,53% (idade de dez anos na posição mais próxima da medula), com uma variação de 114,0%. Pela análise de variância (anexo 14), verificou-se que os efeitos da posição radial no sentido medula-casca foram muito mais pronunciados que a idade; a interação desses efeitos teve muito pouca influência na definição dos valores da contração tangencial total. Estatisticamente, observaram-se diferenças significativas entre todas as posições, no sentido medula-casca; tais diferenças, também, foram observadas entre as idades de dez, quatorze e vinte e cinco anos, não sendo estas diferenças detectadas entre as idades de quatorze e vinte anos. A variação da contração tangencial total pode ser melhor visualizada através da figura 22.

FIGURA 22 - VARIAÇÃO DA CONTRAÇÃO TANGENCIAL TOTAL (%) DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis* DE DIFERENTES IDADES E POSIÇÕES NO SENTIDO MEDULA-CASCA



O modelo de variação de contração tangencial total acompanhou o modelo de variação para a massa específica, confirmando as citações da literatura. Assim, a magnitude da variação dimensional foi maior para as madeiras de maior massa

específica, devido à maior quantidade de madeira por unidade de volume. A contração tangencial total se mostrou correlacionada com a massa específica ($R = 0,45$), conforme os dados apresentados no anexo 19. A contração tangencial é menor nas idades mais jovens e junto às regiões mais próximas da medula, caracterizando-se um efeito da presença de madeira juvenil. A menor contração ocorreu na idade de dez anos; nas posições mais próximas da medula de todas as idades, verificaram-se, também, valores inferiores à média geral. Os valores de coeficiente de variação foram relativamente baixos, evidenciando uma certa homogeneidade entre as amostras utilizadas. Verificou-se que a variabilidade tendeu a diminuir com a idade e com o sentido medula-casca.

8.2.4 Contração longitudinal total

Os valores encontrados no presente trabalho para contração longitudinal total estão em conformidade com os normalmente encontrados na literatura, à exceção da madeira de vinte e cinco anos, em todas as posições que apresentaram valores excepcionalmente altos. Observou-se uma tendência de redução dos valores de contração, em função da posição radial, no sentido casca-medula, mas situação inversa foi observada para a idade, à exceção da madeira de vinte anos, que não acompanhou tal tendência. O valor médio para a contração longitudinal total foi de 0,45%, sendo os limites superior e inferior, respectivamente, de 0,98% (idade de vinte e cinco anos na região correspondente a 100% no sentido medula-casca) e 0,11% (idade de vinte anos na região correspondente a 66% no sentido medula-casca). Pela análise de variância (anexo 15), verificou-se uma pequena influência da idade, não sendo detectada qualquer influência da posição radial no sentido medula-casca, nem da interação dos efeitos, nos valores da contração longitudinal. Estatisticamente, não se observaram diferenças significativas entre todas as posições, no sentido medula-casca, e entre as idades de dez, quatorze e vinte, mas tais diferenças significativas foram observadas entre as idades de quatorze e vinte e cinco anos.

Os valores médios de contração longitudinal total estão apresentados na tabela 19.

TABELA 19 - VALORES MÉDIOS DE CONTRAÇÃO LONGITUDINAL TOTAL (%) DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis*, DE DIFERENTES IDADES E POSIÇÕES NO SENTIDO MEDULA-CASCA

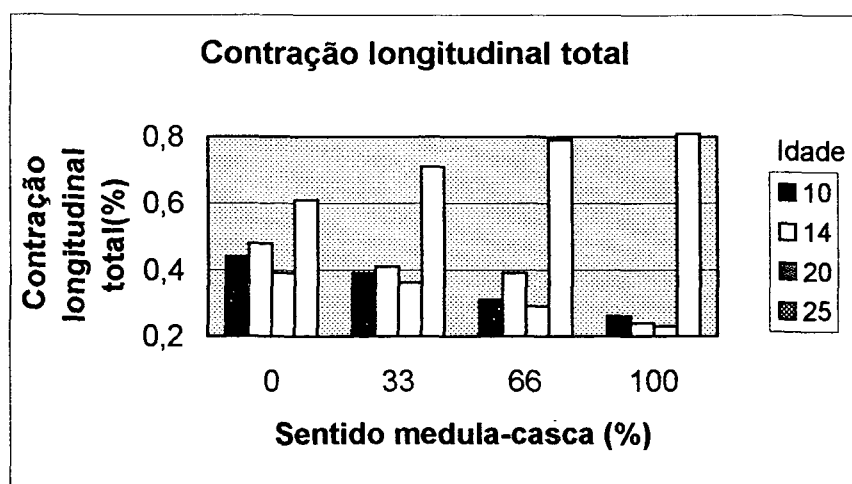
TRATAMENTO	N	MÉDIAS	TUKEY	CV (%)	DP (%)
Idade 20 anos	192	0,32	a ^{1/}	89,50	0,28
Idade 10 anos	192	0,35	a	96,07	0,33
Idade 14 anos	192	0,38	a	126,86	0,48
Idade 25 anos	192	0,73	b	122,97	0,91
Posição 100% (M-C)	192	0,39	a	161,57	0,70
Posição 66% (M-C)	192	0,46	a	132,13	0,62
Posição 33% (M-C)	192	0,46	a	119,65	0,55
Posição 0% (M-C)	192	0,47	a	122,33	0,58
Interação idade X posição					
20 anos x posição 66%	48	0,24	a	115,91	0,27
14 anos x posição 100%	48	0,25	ab	62,97	0,15
10 anos x posição 100%	48	0,27	a	79,21	0,21
20 anos x posição 100%	48	0,29	ab	91,53	0,26
10 anos x posição 66%	48	0,32	ab	83,85	0,26
20 anos x posição 33%	48	0,36	abc	93,44	0,33
14 anos x posição 66%	48	0,38	abc	81,43	0,31
10 anos x posição 33%	48	0,39	abc	67,27	0,26
20 anos x posição 0%	48	0,39	abc	109,51	0,42
14 anos x posição 33%	48	0,41	abc	104,15	0,43
10 anos x posição 0%	48	0,44	abc	119,27	0,53
14 anos x posição 0%	48	0,48	abc	150,20	0,72
25 anos x posição 0%	48	0,61	abc	113,26	0,69
25 anos x posição 33%	48	0,71	abc	114,65	0,81
25 anos x posição 66%	48	0,80	bc	118,88	0,94
25 anos x posição 100%	48	0,82	c	135,07	1,10
MÉDIA GERAL			0,45		

^{1/} Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente, pelo teste de Tukey, com significância de 5% ($p < 0,05$).

Verificou-se que, em todas as posições estudadas, a madeira de vinte e cinco anos apresentou uma contração longitudinal total superior a todas às demais idades. A contração longitudinal total apresentou baixa correlação com a massa específica ($R =$

0,09), conforme os dados apresentados no anexo 19. A variação da contração longitudinal total pode ser melhor visualizada através da figura 23.

FIGURA 23 - VARIAÇÃO DA CONTRAÇÃO LONGITUDINAL TOTAL (%) DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis* DE DIFERENTES IDADES E POSIÇÕES NO SENTIDO MEDULA-CASCA



Os valores de coeficiente de variação foram extremamente altos, mas estão em conformidade com os dados normalmente encontrados na literatura, à exceção dos valores encontrados na madeira de vinte e cinco anos. A explicação para valores tão altos se deve à diminuta variação no sentido longitudinal e à metodologia usualmente utilizada, que não consegue captar, com precisão, as pequenas alterações nos corpos de prova.

8.2.5 Fator anisotrópico

A variação dos valores de fator anisotrópico apresentou uma tendência bem definida de crescimento, em função da idade e da variação radial, no sentido medula-casca. Os valores de fator anisotrópico estão apresentados na tabela 20.

TABELA 20 - VALORES MÉDIOS DO FATOR ANISOTRÓPICO DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis*, DE DIFERENTES IDADES E POSIÇÕES NO SENTIDO MEDULA-CASCA

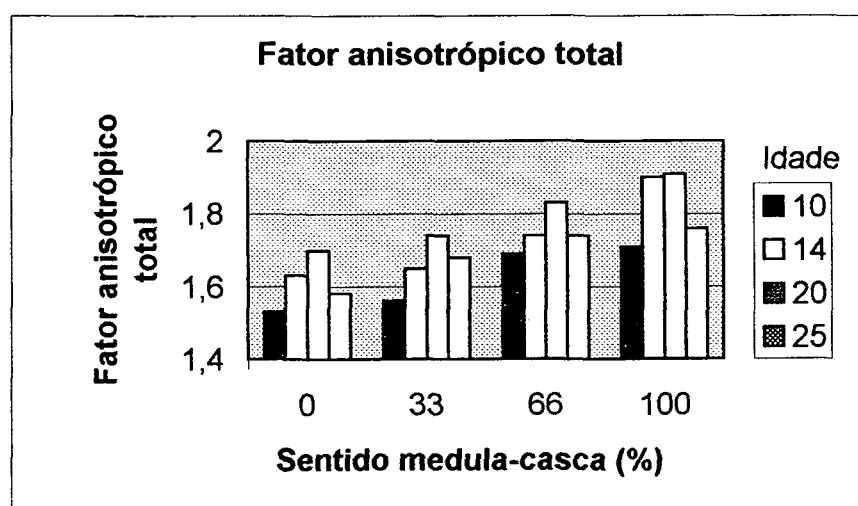
TRATAMENTO	N	MÉDIAS	TUKEY	CV (%)	DP
Idade 10 anos	192	1,67	a ^V	18,62	0,314
Idade 25 anos	192	1,68	a	18,38	0,312
Idade 14 anos	192	1,72	a	19,97	0,343
Idade 20 anos	192	1,74	a	20,17	0,352
Posição 0% (M-C)	192	1,69	a	16,69	0,281
Posição 33% (M-C)	192	1,69	a	16,85	0,286
Posição 66% (M-C)	192	1,69	a	21,41	0,365
Posição 100% (M-C)	192	1,77	a	22,15	0,392
Interação idade X posição					
10 anos x posição 0%	48	1,53	a	16,52	0,253
10 anos x posição 33%	48	1,56	a	16,60	0,258
25 anos x posição 0%	48	1,58	ab	19,81	0,313
14 anos x posição 0%	48	1,63	ab	17,84	0,291
14 anos x posição 33%	48	1,65	ab	13,14	0,216
25 anos x posição 33%	48	1,68	abc	18,28	0,308
10 anos x posição 66%	48	1,69	abc	14,14	0,239
20 anos x posição 0%	48	1,70	abc	21,84	0,372
10 anos x posição 100%	48	1,71	abc	19,34	0,331
14 anos x posição 66%	48	1,74	abc	15,69	0,272
25 anos x posição 66%	48	1,74	abc	16,43	0,286
20 anos x posição 33%	48	1,74	abc	15,69	0,272
25 anos x posição 100%	48	1,76	abc	19,61	0,345
20 anos x posição 66%	48	1,83	bc	16,98	0,310
14 anos x posição 100%	48	1,90	c	23,86	0,454
20 anos x posição 100%	48	1,91	c	22,91	0,437
MÉDIA GERAL		1,71			

^V Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente, pelo teste de Tukey, com significância de 5% ($p < 0,05$).

O fator anisotrópico é o resultado da relação direta entre as contrações radial e tangencial e, no presente trabalho, o modelo de variação acompanhou o modelo de variação para a massa específica, confirmando as citações da literatura. Assim, a magnitude da variação dimensional foi maior para as madeiras de maior massa específica, devido à maior quantidade de madeira por unidade de volume. Não se observou qualquer correlação do fator anisotrópico com a massa específica, com um $R = -0,13$, conforme o anexo 19. O valor médio foi de 1,71, sendo os limites individuais superior e inferior, respectivamente, de 2,00 (idade de vinte anos na região próxima à medula) e 1,43 (idade de quatorze anos na região correspondente a 33% da medula). Pela análise de variância, verificou-se que o fator anisotrópico não sofreu qualquer

influência da idade e da posição, apresentando valores de F não significativos a uma probabilidade de 5%. Uma influência discreta da interação idade x posição foi observada nos resultados do fator anisotrópico (anexo 16). Estatisticamente, não se observaram diferenças significativas quanto às variações de idade e posição radial no sentido medula-casca. A variação do fator anisotrópico pode ser melhor visualizada através da figura 24.

FIGURA 24 - VARIAÇÃO DO FATOR ANISOTRÓPICO DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis* DE DIFERENTES IDADES E POSIÇÕES NO SENTIDO MEDULA-CASCA



Os valores de coeficiente de variação foram relativamente baixos, evidenciando uma certa homogeneidade entre as amostras utilizadas.

9 PROPRIEDADES MECÂNICAS DA MADEIRA

Segundo MOREIRA (1999), a fibra é considerada a fonte de elasticidade e de resistência da madeira; por outro lado, a sua estrutura tubular e a sua constituição polimérica são responsáveis pela maioria das propriedades físicas e químicas. Como material anisotrópico, a madeira possui propriedades mecânicas únicas e independentes nas direções dos três eixos ortogonais. As suas propriedades, portanto, variam com a direção da carga em relação aos seus três eixos. O módulo de ruptura (MOR) e o módulo de elasticidade (MOE) são dois parâmetros normalmente determinados nos testes de flexão estática e são de grande importância na caracterização tecnológica da madeira; ambos dão uma boa aproximação da resistência do material, constituindo-se, na prática, parâmetros de grande aplicação na classificação dos materiais.

Segundo TSOUMIS (1991), a massa específica, a retratibilidade e a resistência aos esforços de flexão estática (MOE e MOR) são considerados os mais importantes parâmetros físico-mecânicos para a madeira sólida. Os seus valores expressam a combinação de diversos fatores, incluindo a constituição morfológica, anatômica e química da madeira. Segundo FOREST PRODUCTS LABORATORY (1974), KOLLMANN e CÔTÉ (1968), as propriedades mecânicas da madeira são fortemente influenciadas por fatores diversos, como idade da árvore, ângulo da grã, teor de umidade, temperatura, constituintes químicos, fadiga, apodrecimento, massa específica, constituição anatômica, duração da tensão e da deformação, radiação nuclear, falhas na madeira, presença de nós e outros defeitos. Tal número de variáveis permite concluir que a madeira é um material de comportamento extremamente complexo. MOREIRA (1999) reiterou que as propriedades mecânicas apresentam uma associação significativa com muitas das características anatômicas, em especial aquelas que dizem respeito às fibras e vasos. Segundo o mesmo autor, as dimensões da fibra e os raios lenhosos explicam parcialmente a variabilidade da rigidez entre as madeiras. MATOS (1997), citando vários autores, menciona que um corpo sólido sofre uma certa deformação, quando está sujeito a uma determinada carga; ao se remover tal

carga e, caso o esforço aplicado não exceda o limite elástico, o corpo tende a retornar à forma e posição originais. Dentro de um certo limite de esforços, os corpos sólidos manifestam as suas propriedades e, além do limite proporcional, as deformações sofridas pelo material serão irreversíveis; numa situação extrema, poderá haver a sua completa ruptura. Segundo o mesmo autor, o módulo de elasticidade (MOE) ou módulo de Young mede a rigidez dos materiais e expressa o esforço hipotético onde um corpo de 1 centímetro quadrado de área transversal pode ser estendido ao dobro do comprimento original. Na realidade, o valor real do módulo de elasticidade (MOE) é impossível de ser atingido, pois nunca se conseguirá uma deformação da grandeza do comprimento do próprio corpo; por certo, antes que tal situação aconteça, ocorrerá a ruptura do material. A rigidez da madeira é uma medida de sua aptidão em resistir à deformação imposta pela carga e é expressa, numericamente, em testes de flexão estática, através do módulo de elasticidade, utilizando-se peças de seção retangular, com dois apoios e um ponto de aplicação da carga. Segundo KLOCK (2000), embora o módulo de elasticidade não ofereça informações completas e reais sobre o comportamento de um determinado material, pode-se concluir que valores altos de MOE indicam alta resistência e baixa capacidade de deformação do material, qualificando-o para fins construtivos.

MATOS (1997), citando vários autores, reiterou que a resistência de uma peça de madeira submetida à flexão é expressa em termos de esforços por unidade de área, através do módulo de ruptura (MOR), representando o máximo esforço que é aplicado sobre as fibras nos extremos superior e inferior da seção transversal da peça. Os valores do módulo de ruptura são utilizados para a obtenção de tensões admissíveis para diversas formas de utilização da madeira.

LIMA, BREESE E CAHALAN (2000), estudando vários clones de *Eucalyptus grandis*, verificaram que o módulo de ruptura (MOR) e o módulo de elasticidade (MOE) aumentaram seus valores no sentido medula-casca. Os autores salientaram que, embora ambos estivessem relacionados com a massa específica, fatores supostamente não importantes para a massa específica, como ângulo da grã, ângulo da microfibrila e defeitos microscopicamente imperceptíveis, passam a sê-lo nos módulos de ruptura e de

elasticidade. DELLA LUCIA e VITAL (1983), estudando o comportamento de *Eucalyptus saligna*, com quarenta anos de idade, detectaram um módulo de elasticidade maior na madeira do cerne, em relação ao alburno. CHIMELO (1980), procurando relacionar as propriedades mecânicas e a massa específica, verificou um alto nível de associação estatística entre a massa específica e as propriedades de resistência à flexão estática, como o módulo de ruptura e o módulo de elasticidade. Para RAYMOND (2000), as propriedades de resistência e estabilidade dimensional são extremamente importantes na qualificação da madeira para fabricação de móveis; tais propriedades são realçadas nos componentes estruturais, destacando-se a importância do MOE e o MOR, observando-se valores mais elevados em madeiras de lenho adulto e de maior idade. ASHLEY e OZARSKA (2000) afirmaram que o desenho dos móveis deve basear-se nas características técnicas da madeira utilizada e as dimensões de cada componente, por sua vez, devem estar adaptadas à resistência da madeira em questão e ao tipo de carga que o móvel deverá suportar em serviço; ressaltaram, ainda, a importância da massa específica e do MOE e MOR na utilização da madeira de eucalipto para fabricação de móveis. Estudando a madeira de *Eucalyptus grandis* de duas idades, os autores anteriormente mencionados encontraram valores de 720,9 e 690,7 kgf/cm² para massa específica aparente, valores de 123.000 e 135.000 kgf/cm², para módulo de elasticidade, e valores de 782 e 982 kgf/cm², para módulo de ruptura para as madeiras de vinte e dois e vinte e oito anos, respectivamente. Tais valores foram mais altos que os encontrados nas madeiras tradicionalmente usadas na fabricação de móveis na Europa. Para madeiras utilizadas em componentes de móveis com elevado esforço, como peças de cadeiras, camas, mesas, estantes, bancos e sofás, os mesmos autores recomendaram um material que apresentasse valores próximos de 120.000 kgf/cm² de módulo de elasticidade e de 800 kgf/cm² de módulo de ruptura. ACOSTA (1998), analisando madeiras de *Eucalyptus grandis*, com doze e dezoito anos de idade, encontrou valores de 98.345 kgf/cm² para MOE e, 731 kgf/cm² para MOR. Para a madeira de *Eucalyptus grandis*, OLIVEIRA (1997) encontrou valores de 86.560 kgf/cm² para MOE e 612 kgf/cm² para MOR,

reconhecendo-os muito baixos, quando comparados com valores encontrados noutras espécies de eucalipto estudadas.

9.1 MATERIAL E MÉTODOS

Oriundos da tábua diametral de cada tora, retiraram-se oito corpos de prova, com dimensões nominais de 2 x 2 x 30 cm, sendo a última medida no sentido longitudinal, provenientes de quatro posições eqüidistantes da seção radial, correspondendo a 0, 33, 66 e 100% da *direção medula-casca*. Após a confecção dos corpos de prova, as peças foram acondicionadas na câmara climática, até atingirem peso constante, a um teor de umidade de 12%. Os testes de flexão estática obedeceram às normas da ASTM D143-93 (1995) e foram realizados numa máquina universal de ensaios EMIC, gerenciada por um microcomputador, localizada no Laboratório de Produtos Florestais do Centro de Ciências Florestais e da Madeira da Universidade Federal do Paraná.

9.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO

9.2.1 Módulo de elasticidade (MOE)

Os dados apresentados na Tabela 21 evidenciaram um aumento nos valores médios do módulo de elasticidade (MOE) em função da idade e da *direção radial*, no sentido *medula-casca*. Os valores encontrados para o módulo de elasticidade (MOE) estão em conformidade com os normalmente encontrados na literatura e estão apresentados na tabela 21.

O valor médio para o módulo de elasticidade encontrado foi de 129.230 kgf/cm², sendo os limites individuais superior e inferior, respectivamente, de 192.668 kgf/cm² (idade de vinte anos, na posição mais próxima da casca) e 81.438 kgf/cm² (idade de dez anos na posição mais próxima da medula). Os dados apresentados pela análise de variância (anexo 17) confirmaram que a idade teve mais influência no módulo de elasticidade do que a posição radial no sentido *medula-casca*; a influência da interação

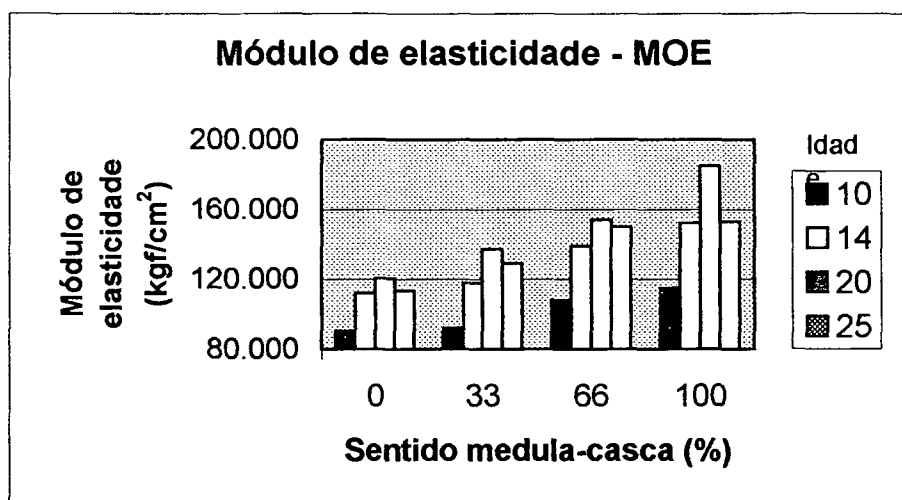
desses efeitos também foi verificada, embora em menor intensidade. A variação do módulo de elasticidade pode ser melhor visualizada através da figura 25.

TABELA 21 - VALORES MÉDIOS DO MÓDULO DE ELASTICIDADE (MOE) EM FLEXÃO ESTÁTICA (kgf/cm^2) DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis*, DE DIFERENTES IDADES E POSIÇÕES NO SENTIDO MEDULA-CASCA

TRATAMENTO	N	MÉDIAS	TUKEY	CV (%)	DP (kgf/cm^2)
Idade 10 anos	128	101.313	a ^{1/}	23,87	24140,59
Idade 25 anos	128	130.559	b	25,12	32741,87
Idade 14 anos	128	135.926	b	17,76	24200,02
Idade 20 anos	128	149.120	c	15,39	22944,20
Posição 0% (M-C)	128	108.942	a	25,45	27775,15
Posição 33% (M-C)	128	118.989	b	21,83	25976,27
Posição 66% (M-C)	128	137.741	c	18,78	25840,51
Posição 100% (M-C)	128	151.274	d	16,85	25568,98
Interação idade X posição					
10 anos x posição 0%	32	90.313	a	28,28	25535,04
10 anos x posição 33%	32	92.199	a	25,73	23707,87
10 anos x posição 66%	32	107.771	ab	22,00	23707,87
14 anos x posição 0%	32	111.340	abc	21,89	24358,41
25 anos x posição 0%	32	113.518	abcde	30,03	34122,14
10 anos x posição 100%	32	114.969	bcde	20,59	23707,87
14 anos x posição 33%	32	117.636	bcde	28,00	32962,49
20 anos x posição 0%	32	120.195	bcde	19,62	23707,87
25 anos x posição 33%	32	128.845	cdef	17,81	22961,17
20 anos x posição 33%	32	137.274	def	16,68	22932,88
14 anos x posição 66%	32	138.812	defg	22,96	31915,97
25 anos x posição 66%	32	150.084	fg	16,06	24126,48
14 anos x posição 100%	32	152.270	fg	20,93	31915,97
25 anos x posição 100%	32	153.034	g	14,99	22932,88
20 anos x posição 66%	32	154.189	g	14,70	22570,84
20 anos x posição 100%	32	184.823	h	14,76	22570,84
MÉDIA GERAL			129.230		

^{1/} Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente, pelo teste de Tukey, com significância de 5% ($p < 0,05$).

FIGURA 25 - VARIAÇÃO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE EM FLEXÃO ESTÁTICA (kgf/cm^2) DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis* DE DIFERENTES IDADES E POSIÇÕES NO SENTIDO MEDULA-CASCA



Estatisticamente, observaram-se diferenças significativas entre os valores médios de todas as posições; situação semelhante foi observada para as idades de dez, quatorze e vinte anos, mas tais diferenças não foram observadas entre as idades de quatorze e vinte e cinco anos. O módulo de elasticidade apresentou alta correlação com a massa específica ($R=0,80$), conforme os dados do anexo 22. Acompanhando a tendência para a massa específica, o menor valor de módulo de elasticidade (MOE) foi encontrado na madeira de dez anos, na região mais próxima da medula, indicando a presença de madeira juvenil. O menor valor do módulo de elasticidade (MOE) da madeira de vinte e cinco anos em relação à madeira de vinte anos pode ser explicado pela diversidade de material genético e pelas diferentes condições locais de crescimento e tratos silviculturais. Todos os valores médios, independentemente das diferentes idades, encontrados nas posições mais próximas da medula (posição 0% no sentido medula-casca) foram inferiores à média geral. Situação idêntica foi observada para a madeira de dez anos, independentemente das diferentes posições. Segundo recomendações de ASHLEY e OZARSKA (2000), que preconizam o uso de madeiras que apresentem, no mínimo 120.000 kgf/cm^2 para o módulo de elasticidade, as madeiras de quatorze, vinte e vinte e cinco anos poderiam ser utilizadas sem restrições.

Os coeficientes de variação foram relativamente baixos, indicando baixa variabilidade entre os valores utilizados, encontrando-se dentro da faixa normalmente encontrada na literatura.

9.2.2 Módulo de ruptura (MOR)

Os dados apresentados na Tabela 22 evidenciaram um aumento dos valores do módulo de ruptura (MOR) em função da idade e, principalmente, da direção radial, no sentido medula-casca. Os valores encontrados para o módulo de ruptura (MOR) estão em conformidade com os normalmente encontrados na literatura. O valor médio para o módulo de ruptura (MOR) foi de 854 kgf/cm^2 , sendo os limites individuais superior e inferior, respectivamente, de 1.341 kgf/cm^2 (idade de 20 anos, na posição mais próxima da casca) e 549 kgf/cm^2 (idade de 10 anos na posição mais próxima da medula). Acompanhando a tendência para a massa específica, o menor valor do módulo de ruptura (MOR) foi encontrado na madeira de dez anos, na região mais próxima da medula. Todos os valores médios, independentemente das diferentes idades, encontrados nas posições mais próximas da medula (posições 0 e 33% no sentido medula-casca), foram inferiores à média geral. Situação idêntica foi observada para todos os valores médios da idade de dez anos, independentemente das diferentes posições. Tais valores, por certo, indicam a presença de madeira juvenil. Os valores médios para módulo de ruptura (MOR) estão apresentados na tabela 22.

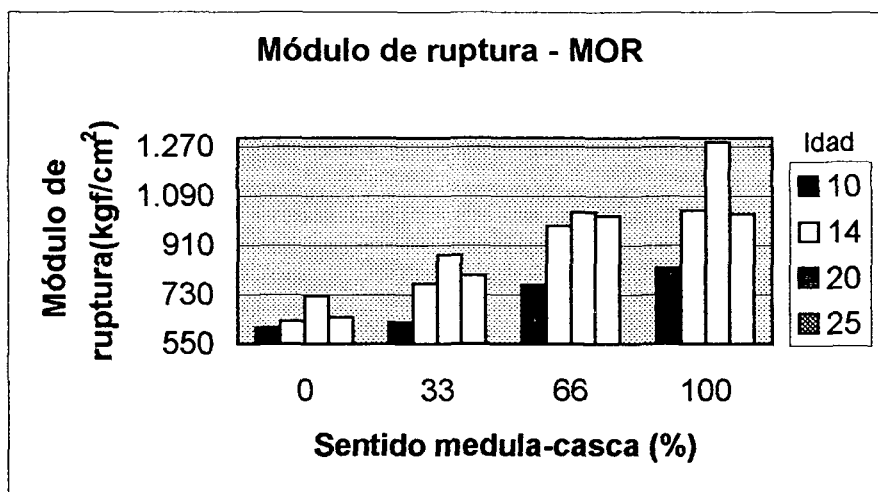
Os dados apresentados pela análise de variância (anexo 18) revelam que o efeito da posição no sentido medula-casca é muito mais pronunciado do que a idade no módulo de ruptura (MOR); a influência da interação desses efeitos também foi verificada, embora em menor intensidade. Estatisticamente, observaram-se diferenças significativas entre os valores médios de todas as posições; situação semelhante foi observada para as idades, à exceção das idades de quatorze e vinte e cinco anos, que não apresentaram diferenças estatísticas entre si. O módulo de ruptura apresentou alta correlação com a massa específica ($R=0,89$), conforme os dados do anexo 22. A variação do módulo de ruptura pode ser melhor visualizada através da figura 26.

TABELA 22 - VALORES MÉDIOS DE MÓDULO DE RUPTURA (MOR) EM FLEXÃO ESTÁTICA (kgf/cm²) DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis*, DE DIFERENTES IDADES E POSIÇÕES NO SENTIDO MEDULA-CASCA

TRATAMENTO	N	MÉDIAS	TUKEY	CV (%)	DP (kgf/cm ²)
Idade 10 anos	128	707	a ^{1/}	56,00	393,74
Idade 14 anos	128	859	b	26,36	393,88
Idade 25 anos	128	869	b	45,59	385,23
Idade 20 anos	128	979	c	39,25	226,80
Posição 0% (M-C)	128	654	a	27,71	177,13
Posição 33% (M-C)	128	767	b	23,53	179,03
Posição 66% (M-C)	128	950	c	19,00	179,97
Posição 100% (M-C)	128	1.042	d	18,44	192,42
Interação idade X posição					
10 anos x posição 0%	32	610	a	28,73	176,86
10 anos x posição 33%	32	628	ab	34,05	164,21
14 anos x posição 0%	32	632	ab	28,62	184,39
25 anos x posição 0%	32	646	abc	35,92	236,34
20 anos x posição 0%	32	725	abcd	22,62	164,21
10 anos x posição 66%	32	765	bcde	21,43	164,21
14 anos x posição 33%	32	770	bcde	29,35	228,33
25 anos x posição 33%	32	801	cde	19,74	158,84
10 anos x posição 100%	32	825	def	19,79	164,21
20 anos x posição 66%	32	876	efg	18,10	158,83
14 anos x posição 66%	32	981	fgh	22,51	221,08
25 anos x posição 66%	32	1.018	h	15,55	158,84
25 anos x posição 100%	32	1.023	h	16,00	167,12
20 anos x posição 66%	32	1.030	h	14,82	156,33
14 anos x posição 100%	32	1.038	h	21,27	221,08
20 anos x posição 100%	32	1.286	i	11,87	156,32
MÉDIA GERAL			854		

^{1/} Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente, pelo teste de Tukey, com significância de 5% (p<0,05).

FIGURA 26 - VARIAÇÃO DO MÓDULO DE RUPTURA EM FLEXÃO ESTÁTICA (kgf/cm^2) DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis* DE DIFERENTES IDADES E POSIÇÕES NO SENTIDO MEDULA-CASCA



Verifica-se que as madeiras de quatorze, vinte e vinte e cinco anos, embora diferentes estatisticamente entre si, apresentaram valores muito próximos entre si para o módulo de ruptura, na posição de 66%, no sentido medula-casca. A madeira de quatorze e vinte e cinco anos apresentou valores muito próximos entre si para o módulo de ruptura, na posição de 100%, no sentido medula-casca. O menor valor de módulo de ruptura (MOR) da madeira de vinte e cinco anos em relação à madeira de vinte anos pode ser explicado pela diversidade de material genético e pelas diferentes condições locais de crescimento e tratos silviculturais. Segundo recomendações de ASHLEY e OZARSKA (2000), que preconizam o uso de madeiras que apresentem, no mínimo 800 kgf/cm^2 para o módulo de ruptura, em peças de componentes estruturais, apenas as madeiras de quatorze, vinte e vinte e cinco anos, nas posições de 66 e 100% do sentido radial medula-casca, poderiam ser utilizadas sem restrições. Os coeficientes de variação foram relativamente altos, mas dentro da faixa de variação normalmente encontrada na literatura.

10 RESISTÊNCIA NATURAL AO ATAQUE DE CUPIM DE MADEIRA SECA

Um dos fatores que limita a utilização da madeira em vários usos é, sem dúvida, a sua baixa durabilidade natural. O conhecimento da resistência natural de madeiras ao ataque de organismos xilófagos, principalmente cupins, torna-se um requisito muito importante para a utilização correta da madeira de eucalipto nas indústrias de movelaria e construção civil.

Segundo OLIVEIRA (1997), quanto maior a sua durabilidade natural na indústria moveleira, uma determinada madeira terá preferência em relação às demais, pois evitam-se, assim, os inconvenientes advindos da utilização de produtos químicos altamente tóxicos, utilizados no tratamento de madeiras de baixa durabilidade, a fim de lhe conferir um desempenho satisfatório em serviço. Além das restrições ambientais aos produtos que hoje dominam a indústria da preservação, também são relevantes alguns aspectos técnicos, relacionados à própria madeira a ser preservada. Tais aspectos estão relacionados à resistência de impregnação da madeira de certas espécies, como é o caso do cerne de eucalipto, com uma inadequada distribuição interna destes produtos, muitas vezes, não protegendo, satisfatoriamente, o tecido lenhoso, além da baixa fixação desses compostos nas macromoléculas que constituem primariamente a madeira, bem como reduzida disponibilidade desses produtos em algumas regiões.

Segundo OLIVEIRA et al. (1986), a madeira é degradada biologicamente porque alguns organismos utilizam os polímeros naturais da sua parede celular como fonte de alimento e alguns deles possuem sistemas enzimáticos específicos, capazes de metabolizá-los em unidades digeríveis. O alburno é a parte da madeira que apresenta materiais nutritivos armazenados, o que o torna mais suscetível ao ataque de agentes biológicos. O cerne normalmente apresenta maior durabilidade natural, devido à ausência de materiais nutritivos e, principalmente, à presença de extrativos. Segundo os mesmos autores, os cupins ou térmitas são os principais insetos xilófagos, considerados hemimetábolos, eusociais e, predominantemente, tropicais. Os cupins pertencem à ordem *Isoptera* e estão distribuídos em mais de duas mil espécies.

LEPAGE (1986) afirmou que os cupins de madeira seca instalam suas colônias em peças de madeira, com baixos teores de umidade, variando de 10 a 12%, não exigindo contato com o solo. Iniciando o ataque após a revoada, cada par sexuado penetra na madeira através de rachaduras ou de outras aberturas naturais e inicia a escavação para o interior, fechando a entrada com partículas da própria madeira. Durante a escavação das galerias, os cupins de madeira seca eliminam pequenos resíduos fecais, através de orifícios abertos temporariamente, o que ajuda na detecção do ataque dos térmitas. Os cupins de madeira seca pertencem à família Kalotermitidae e à espécie *Cryptotermes brevis*, vivendo exclusivamente dentro da madeira da qual se alimentam, formando colônias. Sob o ponto de vista econômico, tal espécie é a mais importante, encontrada no Brasil. Segundo DÉON (1989), esses térmitas são ativos destruidores da madeira, mesmo formando colônias com, relativamente, poucos indivíduos.

Pesquisadores brasileiros e de outras partes do mundo têm-se preocupado com o problema dos cupins. LELIS (1994) verificou prejuízos incalculáveis ao realizar um levantamento em duzentas e quarenta edificações, na cidade de São Paulo, no período de 1973 a 1993; segundo o pesquisador, o dano real causado pelos térmitas é, ainda, desconhecido. SERPA (1986) constatou a presença de térmitas do gênero *Cryptotermes*, destruindo obras sacras, molduras de quadros, altares, vigas, caibros, ripas e constituintes do madeiramento das coberturas das edificações da cidade histórica de Olinda, em Pernambuco.

Nos ensaios de laboratório, a madeira é colocada em contato com tais insetos, sob condições controladas de temperatura e umidade relativa do ar, por determinado período de tempo. CAÑEDO e LELIS (1985) testaram em laboratório várias espécies de folhosas ao ataque de *Cryptotermes brevis*, visando à indicação de espécies de madeira para a produção de cruzetas, em substituição à peroba rosa (*Aspidosperma polyneuron* - Apocynaceae). Relatando experiências em laboratório e avaliando a susceptibilidade de 35 espécies de madeiras da Amazônia ao ataque de *Cryptotermes brevis*, os autores concluíram que 5 espécies foram susceptíveis, 9 foram resistentes e as 21 espécies restantes apresentaram níveis intermediários de resistência.

No Brasil, pouco ou quase nada se conhece a respeito do comportamento real da madeira das espécies do gênero *Eucalyptus*, em relação à resistência aos cupins. Poucos estudos foram desenvolvidos e os resultados revelaram que algumas espécies são mais susceptíveis a tais insetos que outras, mas, no geral, todas apresentaram baixa a moderada resistência natural. RUDMAN e GAY (1967) estudaram em laboratório a susceptibilidade da madeira do cerne e do alburno de *Eucalyptus marginata* a duas espécies de cupins subterrâneos. Após cinquenta e seis dias de exposição, os autores encontraram variações quanto ao grau de ataque nas diferentes posições a partir da medula para a casca. Observaram, ainda, que as árvores mais jovens e provenientes de rápido crescimento apresentaram um menor desempenho quanto à resistência ao ataque, em relação às árvores de maior idade, provenientes de povoamentos naturais. OLIVEIRA (1997), estudando o comportamento da madeira de sete espécies de eucalipto, verificou que as madeiras de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* foram altamente suscetíveis ao ataque de cupim de madeira seca, em condições laboratoriais. Tal resultado se mostrou correlacionado com a baixa massa específica observada, permitindo concluir que, quanto mais elevada for a massa específica básica, mais reduzido será o desgaste provocado pelos cupins de madeira seca. O mesmo autor verificou que as madeiras de *Eucalyptus microcorys*, *Eucalyptus citriodora* e *Eucalyptus cloeziana* apresentaram uma elevada resistência ao ataque de cupins, confirmando, inclusive, várias citações de literatura. Os resultados obtidos pelo autor permitiram-no credenciar tais madeiras para o uso na construção civil. Segundo IPT (1989), o alburno da madeira de *Eucalyptus grandis*, *E. urophylla* e *E. citriodora* apresenta baixa resistência ao ataque de cupins de madeira seca; no caso específico do *Eucalyptus grandis*, até mesmo o cerne apresenta elevado desgaste. Comparada às demais espécies em questão, tal espécie foi a que apresentou menor resistência natural.

10.1 MATERIAL E MÉTODOS

Para o ensaio de resistência natural ao ataque de cupim de madeira seca, utilizou-se o método desenvolvido no Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, denominado “Ensaio Acelerado de Laboratório da Resistência Natural

ou de Madeira Preservada ao Ataque de Térmitas do gênero *Cryptotermes*, da família Kalotermitidae” (IPT, 1980). As amostras foram retiradas da prancha diametral, na região próxima ao cerne mais externo, em número de seis unidades por tora, com dimensões nominais de 2,3 x 0,6 x 7,0 cm, sendo a maior dimensão correspondente ao sentido longitudinal, paralela à grã da madeira. Cada par de amostras foi colocado em contato com 40 cupins de madeira seca, da espécie *Cryptotermes brevis*, da Família Kalotermitidae, na razão de 39 operários e 1 soldado. A avaliação foi feita comparativamente com corpos-de-prova de madeira altamente suscetível ao ataque por cupins, no caso a madeira de *Pinus elliottii*, sob idênticas condições laboratoriais. O ensaio foi instalado em câmara climatizada, sob a temperatura de 27,0°C e umidade relativa de 70%, por um período de quarenta e cinco dias, fazendo-se observações em intervalos periódicos. Ao término do ensaio foram registrados a porcentagem de cupins mortos e o número de furos, bem como atribuídas notas para o desgaste produzido pelos cupins. As notas variaram de 0 (zero) a 4 (quatro), com a seguinte correspondência: a) 0 = nenhum desgaste; b) 1 = desgaste superficial; c) 2 = desgaste moderado; d) 3 = desgaste acentuado; e) 4 = desgaste profundo – correspondente ao desgaste observado na testemunha.

A variável de resposta analisada foi o desgaste provocado pelos cupins, segundo um critério subjetivo de notas. Os resultados foram analisados estatisticamente, com significância de 5%. Utilizou-se a análise de variância não-paramétrica (ANOVA) de Kruskal-Wallis para avaliar o fator amostra, segundo a variável idade. A comparação entre os vários níveis foi feita pelo teste não-paramétrico de Mann-Whitney.

10.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados do ensaio de resistência da madeira de *Eucalyptus grandis* de diferentes idades a cupins de madeira seca estão apresentados na tabela 23.

Os valores encontrados para o desgaste da madeira de *Eucalyptus grandis* ao ataque de cupins de madeira seca estão em conformidade com os normalmente encontrados na literatura. Através da tabela 23, verificou-se que a madeira de *Eucalyptus grandis*, independente da idade, foi altamente suscetível ao ataque de

cupim de madeira seca, uma vez que o desgaste apresentado para todas as idades ficou muito próximo do desgaste apresentado pela madeira que serviu de testemunha. Todas as amostras apresentaram um desgaste que variou de acentuado a profundo, segundo a norma IPT (1980). O índice de mortalidade dos insetos em todos os ensaios foi reconhecidamente alto, indicando a presença de extrativos tóxicos na madeira, inclusive na madeira utilizada como testemunha. O número de furos encontrados na madeira foi relativamente baixo, mas apresentou uma tendência crescente, acompanhando a tendência observada no desgaste. Os dados apresentados pela análise de variância indicaram a influência da idade no desgaste da madeira, onde a madeira de dez anos não apresentou diferenças significativas com a testemunha, mas ambas diferiram estatisticamente das demais idades. A figura 27 ilustra a tendência de variação de desgaste das peças em relação às diferentes idades.

TABELA 23 - VALORES MÉDIOS DA PORCENTAGEM DE CUPINS MORTOS, NÚMERO DE FUROS E DESGASTE DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis*, DE DIFERENTES IDADES

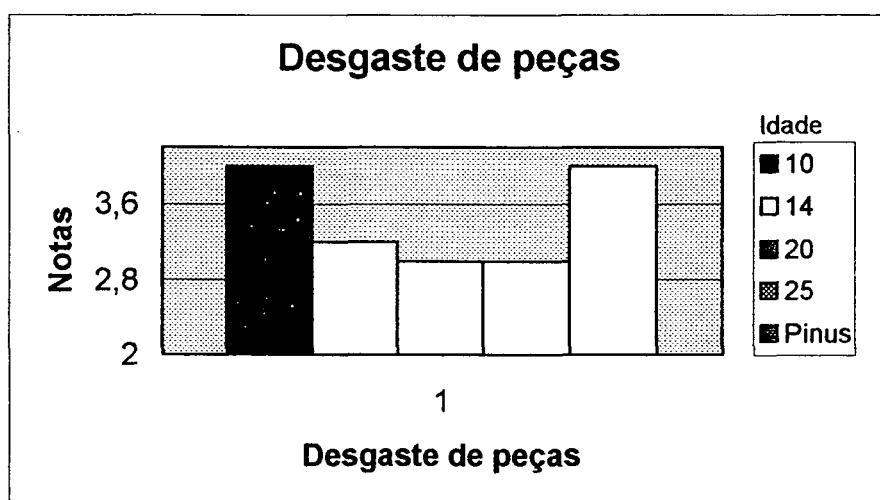
IDADE (ANOS)	CUPINS MORTOS (%)	nº FUROS	DESGASTE	MÉDIAS
20 ANOS	47	0,5	3,0	a ^{1/}
25 ANOS	46	1,3	3,0	a
14 ANOS	48	1,3	3,2	a
10 ANOS	42	1,3	4,0	b
TESTEMUNHA	36	1,4	4,0	b

^{1/} Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente, pelo teste de Mann-Whitney, com significância de 5% ($p < 0,05$).

Como era de se esperar, a madeira de dez anos foi mais severamente atacada que a madeira mais adulta, em função da menor porcentagem de extrativos e maior quantidade de carboidratos. A natureza polifenólica dos extrativos confere-lhe maior poder fungicida e inseticida e a sua maior presença nas madeiras mais adultas resulta em maior resistência ao ataque de cupins. A madeira de dez anos apresentou o mesmo comportamento da madeira de *Pinus elliottii*, madeira reconhecidamente como altamente suscetível e utilizada como testemunha no presente trabalho. As madeiras de quatorze, vinte e vinte e cinco anos não diferiram estatisticamente entre si quanto à

resistência natural ao ataque de cupim de madeira seca, mas se mostraram bastante suscetíveis ao ataque de cupins, todas classificadas de desgaste acentuado. A madeira de todas as idades se mostrou altamente suscetível ao ataque de cupins, revelando a baixa resistência natural da espécie. A utilização da madeira de *Eucalyptus grandis*, na indústria moveleira e construção civil, independente da idade, exigirá um tratamento especial, envolvendo a aplicação de tratamentos preservativos inseticidas, que lhe garantam a imunidade e, mesmo, recomendações especiais quanto às situações de risco e condições locais de uso.

FIGURA 27 - DESGASTE DAS PEÇAS POR CUPINS DE MADEIRA SECA EM MADEIRA DE *Eucalyptus grandis* DE DIFERENTES IDADES



11 USINABILIDADE DA MADEIRA

O termo trabalhabilidade, segundo BURGER e RICHTER (1991), define o grau de facilidade em se processar a madeira com ferramentas manuais e/ou mecânicas. SILVA et al. (1997) afirmaram que a qualidade obtida do processo de usinagem pode ser afetada pela variabilidade da madeira, condições das máquinas, ferramentas de corte e treinamento do operador, devendo todo o processo ser avaliado continuamente. BONDUELLE (2001) e COSTA (1996) reiteraram que a qualidade da usinagem depende da combinação dos atributos e características intrínsecas da madeira com as condições de atuação das máquinas e ferramentas cortantes. Os principais fatores envolvidos são: espessura de corte, velocidade de avanço da madeira contra a ferramenta, ângulo de ataque, rotação do eixo porta-ferramentas, número de gumes de corte da ferramenta, além da massa específica e grã da madeira. Segundo BONDUELLE (2001), a qualidade e o custo de usinagem, por sua vez, dependem da escolha e do uso correto das ferramentas, bem como da otimização das condições de corte. A qualidade da usinagem determina a aceitação ou não de um estado de superfície gerado para essa usinagem. Segundo o autor, o fator que vai determinar o estado da superfície, livre de rugosidades e outras alterações, é o avanço por dente, caracterizado pela grandeza normalizada f_z . O avanço por dente, por sua vez, depende da velocidade de avanço, da frequência da rotação do motor e do número de gumes ativos da ferramenta. A lixação é uma operação de rotina nas empresas, que pode compensar os problemas de usinagem das superfícies das peças, mas, tecnicamente, é uma atividade pouco recomendável, uma vez que a operação demanda um tempo superior ao dobro do tempo de usinagem propriamente dito, além de destruir, parcialmente, a precisão dimensional das peças. SINCLAIR e HANSEN (1993) estudaram a importância relativa dos atributos da qualidade da madeira para a fabricação de móveis e concluíram que os três atributos mais importantes são a ausência de defeitos, integridade estrutural e a trabalhabilidade.

A utilização da madeira de eucalipto na indústria de móveis, pisos, construção civil, dentre outras, é viável, desde que se considere o uso de espécies com

características favoráveis ao desdobro e se adapte a madeira às exigências do produto final a ser obtido. Segundo SIMULA e TISSARI (1998), a madeira de *Eucalyptus grandis* apresenta grande potencial de uso na indústria moveleira. De modo geral, ela apresenta facilidade de usinagem e boa superfície de acabamento, quando aplainada. A sua madeira pode ser torneada, lixada, furada e malhetada, além de proporcionar uma boa linha de cola e receber pintura e brilho com facilidade. SILVA et al. (1997) testaram o comportamento da madeira de *Eucalyptus grandis* mediante as principais operações de usinagem, normalmente executadas no setor moveleiro, concluindo que a referida madeira apresentou comportamento semelhante ao observado para as madeiras tradicionais. PRIEST (1983), estudando o comportamento das madeiras de *Eucalyptus grandis*, de doze e vinte e quatro anos, verificou que o material de maior idade se destacou em todas as operações de usinagem, apresentando um melhor acabamento. O mesmo autor reafirmou que a madeira ideal para operações de usinagem deveria estar entre dezoito e vinte e quatro anos, devido à maior massa específica e outras propriedades desejáveis que caracterizam o lenho adulto. Independentemente da idade, a madeira pode ser usinada satisfatoriamente, desde que se otimize a utilização de máquinas e ferramentas. A madeira mais jovem, por certo, demandará muito maior esforço e investimento tecnológico, sempre apresentando um acabamento mais difícil, com superfícies lanosas. Segundo KIKUTI (1995), a obtenção de madeira de alta qualidade, para aplicação na indústria de móveis, marcenaria e construção civil, deverá considerar a escolha adequada das espécies a serem utilizadas, além de um manejo silvicultural diferenciado daquele realizado atualmente para celulose, chapas e energia, bem como uma adequação da tecnologia utilizada para o processamento da madeira de eucalipto. Para KIKUTI et al. (1996), a idade de corte das árvores é um dos fatores preponderantes na qualidade da madeira serrada. Não basta obter árvores de grande diâmetro, mas árvores com madeira adulta, para se garantir a estabilidade e a resistência necessárias. Segundo HILLIS e BROWN (1978), para a produção de madeira para serraria, as árvores de eucalipto devem ter diâmetros finais avantajados e fustes longos e retos, além de produzir madeira com critérios de qualidade bem definidos em questão de uniformidade, resistência,

estabilidade e trabalhabilidade. Segundo ASSIS (1999), o eucalipto apresenta um grande potencial, se corretamente utilizado. A popularidade de móveis, a partir de madeira sólida, preferencialmente baseada em madeiras certificadas, é uma nova moda que já está prevalecendo nos mercados europeus.

ANDRADE (1961) afirmou que os exemplos das possibilidades de uso da madeira de eucalipto em marcenaria e movelaria existem desde longa data, estendendo-se por diferentes regiões do mundo. Historicamente, existem depoimentos favoráveis atribuídos a empresários da área moveleira dos Estados Unidos, mostrando a aceitação da madeira de eucalipto naquele país, já no início do século XX. Nesses depoimentos, há referências de que a madeira de eucalipto produziria um mobiliário comparável àquele obtido das madeiras tradicionalmente usadas. MANGIERI e DIMITRI (1958) afirmaram que, desde a década de 1950, na Austrália, África do Sul e Argentina, são fabricados móveis com algumas espécies de eucalipto, que produzem madeiras leves, aspectos atraentes, fácil trabalhabilidade manual e mecânica e boas características para tratamentos superficiais, principalmente para colagem e polimento. MENDOZA (1995) reiterou que a madeira de eucalipto é utilizada, há algum tempo, no Chile, para abastecer a indústria de móveis e construção civil. Segundo OLIVEIRA (1999), a madeira utilizada na estrutura interna de móveis estofados, atualmente absorve uma quantidade substancial de madeira de eucalipto. Todos os protótipos construídos com madeira de *Eucalyptus grandis* apresentaram excelentes resultados, mas encontraram restrições de uso quanto à disponibilidade de madeira de qualidade, bem como uma continuidade de suprimento.

Segundo LYPTUS (2002), da ARACRUZ PRODUTOS DE MADEIRA, os problemas decorrentes das variações de grã, cor, rachaduras superficiais, empenamentos leves e contrações podem ser corrigidos ou minimizados através de técnicas adequadas de processamento (desdobro e secagem), usinagem e acabamento. COSTA (1996) e CETEMO (1998) afirmaram que a madeira de *Eucalyptus grandis* é uma das espécies mais promissoras para a indústria moveleira porque é uma madeira leve, de boa resistência mecânica e capaz de receber os mais variados tipos de

acabamento. Os autores realizaram alguns testes de usinagem com a madeira de *Eucalyptus grandis*, cujos resultados estão apresentados no quadro 4.

QUADRO 3 - RESULTADOS DE TESTES DE USINAGEM COM A MADEIRA DE *Eucalyptus grandis*

OPERAÇÃO	ROTAÇÃO (rpm)	AVANÇO (m/min)	ESPESSURA DE CORTE (mm)	% de PEÇAS APROVADAS
Aplainamento	5.000	10	1,6	77
Cópia de perfil	6.000	Manual	8,0	88
Fresagem longitudinal	8.000	10,4	2,2	100
Fresagem transversal	8.000	10,4	2,2	77
Furação para espiga	8.000	Manual	-	100
Respigamento	6.000	-	-	100
Ranhura em tupa superior	18.000	Manual	10,0	82
Furação	3.600	Manual	-	84
Torneamento	3.300	Manual	-	52
Lixamento	3.000	9,1	0,3	100
	1.400			100
	1.900			100

Fonte: COSTA (1996); CETEMO (1998).

A ARACRUZ PRODUTOS DE MADEIRA, através do documento LYPTUS (2002), faz algumas recomendações das principais operações de usinagem da madeira sólida de *Eucalyptus grandis*:

Aplainamento/desengrosso – utilizar ferramentas com quatro ou mais facas, preferencialmente de aço calçado, a 5.000 rpm e com velocidade de avanço de 10 m/minuto. A espessura de corte deve ser de 1,6 mm. O ângulo de ataque deve ficar entre 10 e 25°, o ângulo de folga entre 7 e 20° e o ângulo de afiação, entre 45 e 73°. A velocidade de avanço deve estar ajustada para ficar entre 16 a 20 passos por polegada. A qualidade da superfície é determinada pelo ângulo de ataque, passo de corte e profundidade de corte. O passo de corte, por sua vez, é determinado pelo número de facas, velocidade de avanço e pela rotação do eixo. Os valores aceitáveis do passo são de 1,5 a 1,7 mm e, quanto menor o passo, melhor a qualidade. A profundidade de corte para molduras, considerada de média qualidade, deve ser de 0,03 a 0,005 mm e a profundidade de corte para móveis, considerada de alta qualidade, deve ser de 0,003 a 0,005 mm. Para peças de grã reversa, é necessária uma diminuição da rotação do

alimentador de avanço. O levantamento de fibras poderá ocorrer em peças de média e alta densidades, que são submetidas a facas sem afiação.

Fresagem – deve-se usar tupia de mesa, com fresa de wídia, com os seguintes ajustes: rotação acima de 8.000 rpm, avanço de 10,4 m/min e espessura de corte de, no máximo, 2,2 mm de espessura. Para arredondamento mínimo das bordas da peça, recomenda-se uma rotação de 23.000 rpm. Os problemas de usinagem, como arrepiamento, arrancamento de fibras, lascas ou queima de superfície aparecem quase sempre na operação perpendicular às fibras. Não se encontram problemas maiores na usinagem do lado paralelo às fibras.

Furação – utilizar brocas de wídia ou de aço rápido, com rotação de 8.000 rpm. A espessura do furo não deve ser maior do que 1/3 da espessura da peça. As brocas de aço rápido, com duas pontas e duas canaletas de saída, resultam num melhor acabamento da borda de furos de grande diâmetro. O diâmetro dos furos deve ser 0,2 mm superior ao diâmetro da cavilha. Deve-se usar brocas com duas arestas cortantes para evitar a rachadura nas bordas.

Corte transversal – as destopadeiras com serras de 60 dentes de metal duro (wídia), com rotação de 3.500 rpm, apresentam um bom resultado, cortando a madeira sem dobrar as fibras. Para a madeira de média a alta densidade, o ângulo de ataque deve ser de 0 a 10° e o ângulo de folga deve ser de 15 a 18°. Se a madeira apresentar grã reversa, a velocidade de avanço deverá ser reduzida.

11.1 MATERIAL E MÉTODOS

O material utilizado para a confecção dos corpos de prova foi retirado aleatoriamente ao longo das tábuas, seguindo algumas prescrições básicas: não ser proveniente dos extremos da tora e ser isenta de qualquer tipo de defeitos: nós, podridões, rachaduras de topo, madeira de tração e compressão. As amostras apresentaram um teor de umidade de 12% e dimensões nominais de 20 x 150 x 600mm. Os ensaios de usinagem foram desenvolvidos segundo os procedimentos da norma ASTM D 1666-64 e foram utilizados quinze corpos de prova por árvore, sessenta corpos de prova por cada idade, totalizando 240 amostras, número este utilizado em cada um dos ensaios.

Os ensaios realizados foram: aplainamento, fresagem, cópia de perfil, furação, furação para espiga, corte paralelo às fibras, corte transversal às fibras. Os principais defeitos de usinagem descritos na norma foram: arrancamento de fibras, queima de superfície, marcas de maravalha pela prensagem contra o dorso da ferramenta de corte, lascamento, levantamento de fibras, arrepimento superficial, aspereza de superfície e esmagamento das fibras em lugar de corte. Os defeitos e sua intensidade sobre as peças foram analisadas por quatro avaliadores, sob um caráter puramente subjetivo, mas de forma conjunta e consensual, segundo critérios padronizados e definidos. Utilizou-se como referência uma peça de mogno, espécie considerada ideal para testes de usinagem. Para cada defeito foi elaborado um padrão de notas, que variou de 1 a 5, em que a nota 1 significou amostra isenta de defeitos e as demais notas foram proporcionais à intensidade crescente de defeitos nas amostras, como descrita abaixo:

NOTA	SIGNIFICADO	GRAU
1	Excelente	Sem defeitos
2	Bom	< 50% com defeitos
3	Regular	50% com defeitos
4	Ruim	> 50% com defeitos
5	Muito ruim	100% com defeitos

Foram consideradas aprovadas para a utilização no setor moveleiro as peças que obtiveram notas 1 (ausência de defeitos) e 2 (peça com menos de 50% da superfície com defeitos), apresentando conceitos excelente e bom, respectivamente.

As máquinas e ferramentas utilizadas no presente trabalho seguiram a rotina empregada nas operações de usinagem do Centro Tecnológico da Madeira e do Mobiliário (CETMAM/SENAI), em São José dos Pinhais, no Estado do Paraná. As condições de trabalho foram as seguintes:

a) Aplainamento

Utilizou-se uma plaina desengrossadeira com quatro facas, velocidade de alimentação de 5 m/min; rotação do eixo de 4.500 rpm e espessura de corte de 1,7

mm. A qualidade de acabamento foi avaliada através da rugosidade da superfície, contando-se o número de marcas das facas contidas num espaço de uma polegada.

b) Fresagem longitudinal e transversal

Utilizou-se uma tupa de mesa, com facas retas descartáveis em metal duro. A dimensão do cabeçote foi de 81 X 51 mm e as dimensões da faca foram de 40 X 12 mm. O avanço foi de 10,4 m/min e a rotação do motor, de 5.000 rpm. A profundidade de corte foi de 2,2 mm. A qualidade de acabamento foi avaliada de forma prática e subjetiva, através da rugosidade da superfície e arrancamento de fibras.

c) Cópia de perfil

Utilizou-se uma tupa, com facas descartáveis e perfis intercambiáveis em metal duro. A dimensão do cabeçote foi de 93 X 41mm e a largura da faca foi de 40 mm, com três furos e limitador. O avanço foi manual e a rotação do motor foi de 5.000 rpm. A qualidade de acabamento foi avaliada de forma prática e subjetiva, através da rugosidade da superfície.

d) Furação

Utilizou-se uma furadeira múltipla, com rotação de 3.500 rpm, munido de broca normal helicoidal em aço rápido para furação de cavilha, com diâmetros de 8, 10 e 12 mm e profundidade de corte de 50mm. Foram realizados três furos passantes e três furos não passantes. Os furos foram avaliados quanto à presença de arrancamento das fibras, superfície felpuda, esmagamento e aspereza de corte.

e) Furação para espiga

Utilizou-se uma furadeira horizontal, com uma broca de 8 mm de diâmetro, com 2 canais paralelos, calçada com metal duro na ponta. O avanço foi manual e a rotação do motor foi de 5.000 rpm. As dimensões de cada furo foram de 70 X 8 X 30 mm, respectivamente, de comprimento, largura e profundidade. Os furos foram avaliados quanto à presença de lascamento ou arrancamento das fibras, superfície felpuda das partes internas do furo.

f) Corte paralelo às fibras

Utilizou-se uma serra circular com 72 dentes. O avanço foi manual e a rotação do motor foi de 6.000 rpm. A qualidade de acabamento foi avaliada de forma prática e subjetiva, através da rugosidade da superfície e arrancamento das fibras.

g) Corte transversal às fibras

Utilizou-se uma serra circular com 56 dentes. O avanço foi manual e a rotação do motor foi de 6.000 rpm. A qualidade de acabamento foi avaliada de forma prática e subjetiva, através da rugosidade da superfície e arrancamento de fibras.

11.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO

11.2.1 Aplainamento

Através da tabela 24, verificou-se que a madeira de *Eucalyptus grandis*, independentemente da idade, apresentou um bom desempenho no teste de aplainamento. Os resultados do ensaio de aplainamento estão apresentados na tabela 24.

TABELA 24 - AVALIAÇÃO E PORCENTAGEM DE PEÇAS APROVADAS NOS TESTES DE APLAINAMENTO

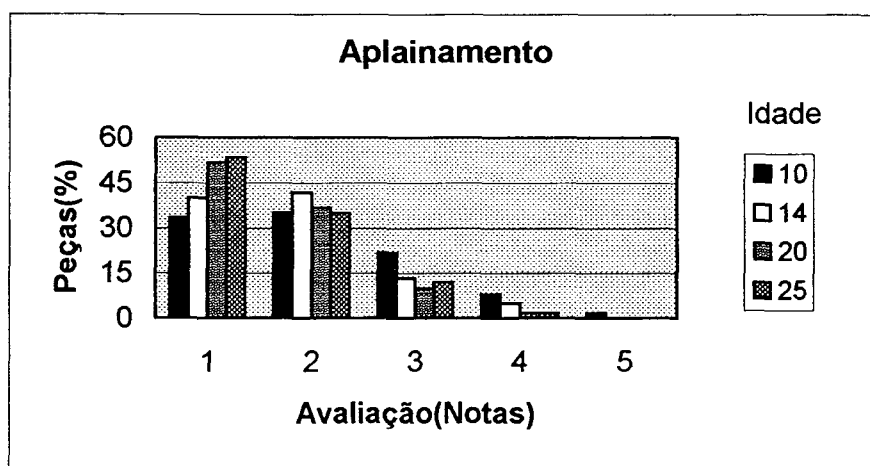
IDADE	AVALIAÇÃO E PORCENTAGEM DE PEÇAS										MÉDIA	MÉDIA (Mann-Whitney)	PEÇAS APROVA- DAS (%)
	NOTA 1		NOTA 2		NOTA 3		NOTA 4		NOTA 5				
	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%			
10	20	33,33	21	35,00	13	21,67	5	8,00	1	2,00	2,10	a ^{1/}	68,3
14	24	40,00	25	41,67	8	13,33	3	5,00	0	0,00	1,83	b	81,7
20	31	51,67	22	36,67	6	10,00	1	1,67	0	0,00	1,62	c	88,3
25	32	53,33	21	35,00	7	12,00	0	0,00	0	0,00	1,58	c	88,3

^{I/} Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente, pelo teste de Mann-Whitney, em nível de significância de 5% (p<0,05).

A madeira de dez anos apresentou o pior desempenho, com o menor número de peças aprovadas, além de ser a única idade que apresentou peças com notas 4 e 5, correspondendo aos conceitos “ruim e muito ruim”. Verificou-se o bom desempenho

das madeiras de vinte e vinte e cinco anos no teste de aplainamento, com elevada percentagem de peças aprovadas, em função da melhor adequação da madeira às condições da máquina e peças cortantes. Os resultados do ensaio de aplainamento estão representados no gráfico da figura 28.

FIGURA 28 - COMPORTAMENTO DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis* DE DIFERENTES IDADES NO ENSAIO DE APLAINAMENTO



Através da figura 28, verifica-se que a quase totalidade das peças obteve conceitos “excelente e bom”, indicando o bom comportamento da madeira ao teste e boa adequação do maquinário e ferramentas. Na análise de variância, verificou-se que a idade influenciou significativamente os resultados. Estatisticamente, verificou-se que os testes na madeira de vinte e vinte e cinco anos não diferiram estatisticamente entre si, mas observaram-se diferenças significativas do teste em relação às madeiras das demais idades. Embora apresentasse diferença estatística em relação à madeira das idades mais avançadas, a madeira de quatorze anos também apresentou um percentual bastante elevado de peças aprovadas nesse teste. Acredita-se que tal desempenho poderia ser maximizado com maior adequação das madeiras às condições do maquinário e das ferramentas cortantes.

11.2.2 Fresagem longitudinal e transversal

Os resultados do ensaio de fresagem longitudinal e transversal estão apresentados na tabela 25.

TABELA 25 - AVALIAÇÃO E PORCENTAGEM DE PEÇAS APROVADAS NOS TESTES DE FRESAGEM LONGITUDINAL E TRANSVERSAL

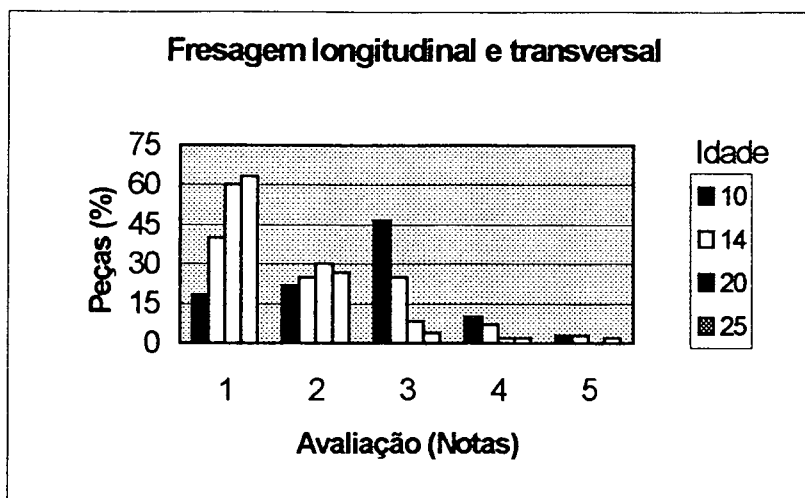
IDADE	AVALIAÇÃO E PORCENTAGEM DE PEÇAS										MÉDIA	MÉDIA (Mann-Whitney)	PEÇAS APROVA DAS (%)
	NOTA 1		NOTA 2		NOTA 3		NOTA 4		NOTA 5				
	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%			
10	11	18,33	13	21,67	28	46,67	6	10,00	2	3,00	2,58	a ^{1/}	40,0
14	24	40,00	15	25,00	15	25,00	4	7,00	2	3,00	2,08	b	65,0
20	36	60,00	18	30,00	5	8,33	1	2,00	0	0,00	1,52	c	90,0
25	38	63,33	16	26,67	4	7,00	1	2,00	1	2,00	1,48	c	90,0

^{I/} Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente, pelo teste de Mann-Whitney, com significância de 5% ($p < 0,05$).

Através da tabela 25, verifica-se que a madeira de *Eucalyptus grandis*, independentemente da idade, apresentou um bom desempenho no teste de fresagem longitudinal e transversal. A madeira de dez anos apresentou o pior desempenho, com o menor número de peças aprovadas (notas 1 e 2), além de apresentar peças com notas 4 e 5, correspondendo aos conceitos “ruim e muito ruim”. Verificou-se, também, que a madeira de dez anos se destacou apenas com um desempenho regular, com a nota 3, diferindo, sobremaneira, das demais idades. A madeira de quatorze anos resultou numa porcentagem de peças bastante reduzida, indicando a sua baixa adequação ao teste.

Estatisticamente, verificou-se que os testes nas madeiras de vinte e vinte e cinco anos não diferiram estatisticamente entre si, mas se observaram diferenças significativas em relação às madeiras das demais idades. Pela análise de variância, verificou-se que a idade influenciou significativamente os resultados. Os resultados do ensaio de fresagem podem ser melhor visualizados no gráfico da figura 29.

FIGURA 29 - COMPORTAMENTO DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis* DE DIFERENTES IDADES NO ENSAIO DE FRESAGEM LONGITUDINAL E TRANSVERSAL



Através da figura 29, verifica-se o bom desempenho das peças de vinte e vinte e cinco anos, com conceitos “excelente e bom”, indicando o bom comportamento da madeira ao teste. Acredita-se que tal desempenho poderia ser maximizado com maior adequação das madeiras às diferentes condições do maquinário e ferramentas cortantes. Os problemas de usinagem, como arrepimento, arrancamento de fibras, lascas ou queima de superfície apareceram quase sempre na operação perpendicular às fibras. Não se encontraram problemas maiores na usinagem do lado paralelo às fibras.

11.2.3 Cópia de perfil

Os resultados do ensaio de cópia de perfil estão apresentados na tabela 26.

Através da tabela 26, verifica-se que a madeira de *Eucalyptus grandis*, independentemente da idade, apresentou um bom desempenho no teste de cópia de perfil. A madeira de dez anos apresentou o pior desempenho, com o menor número de peças com notas 1, correspondendo ao conceito “excelente”. Estatisticamente, verificou-se que o teste na madeira de dez anos apresentou diferenças significativas em relação às madeiras das demais idades, o mesmo acontecendo com a madeira de vinte anos; com as madeiras de quatorze e vinte e cinco anos, os testes não apresentaram diferenças estatísticas entre si. Embora tais diferenças fossem observadas, verificou-se

que a porcentagem de peças aprovadas para as idades de quatorze, vinte e vinte e cinco anos foi, praticamente, a mesma. Pela análise de variância, verificou-se que a idade influenciou significativamente os resultados.

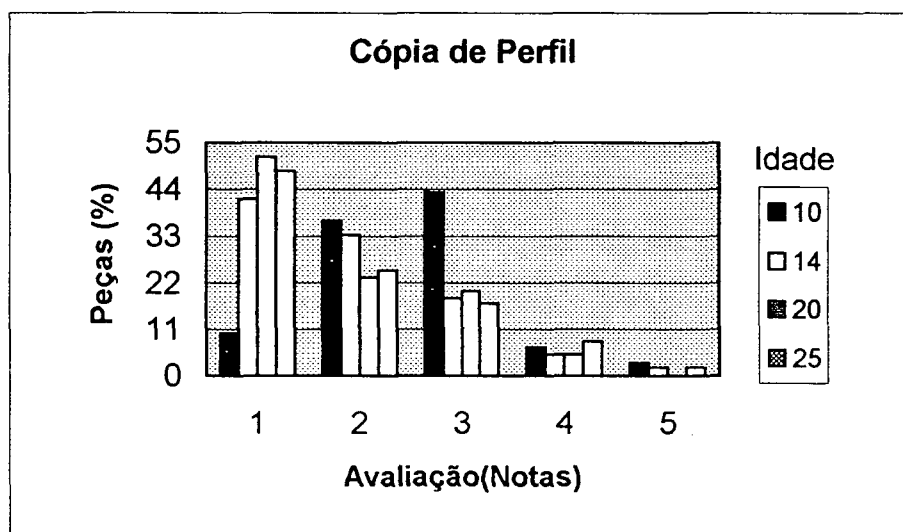
TABELA 26 - AVALIAÇÃO E PORCENTAGEM DE PEÇAS APROVADAS NOS TESTES DE CÓPIA DE PERFIL

IDADE	AVALIAÇÃO E PORCENTAGEM DE PEÇAS										MÉDIA	MÉDIA (Mann-Whitney)	PEÇAS APROVA- DAS (%)
	NOTA 1		NOTA 2		NOTA 3		NOTA 4		NOTA 5				
	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%			
10	6	10,00	22	36,67	26	43,33	4	6,67	2	3,33	2,57	a ^{1/}	46,7
14	25	41,67	20	33,33	11	18,33	3	5,00	1	1,67	1,92	b	75,0
25	29	48,33	17	28,37	12	20,00	2	3,33	0	0,00	1,90	b	76,7
20	31	51,67	14	23,33	12	20,00	3	5,00	0	0,00	1,78	c	75,0

^{1/} Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente, pelo teste de Mann-Whitney, com significância de 5% ($p < 0,05$).

Os resultados do ensaio de cópia de perfil estão representados no gráfico da figura 30.

FIGURA 30 - COMPORTAMENTO DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis* DE DIFERENTES IDADES NO ENSAIO DE CÓPIA DE PERFIL



Através da figura 30, verifica-se que a quase totalidade das peças obteve conceitos “excelente e bom”, à exceção para a madeira de dez anos que se destacou

apenas com um desempenho regular, com a nota 3, comportamento este muito diferente para as demais idades. Verifica-se, também, que as madeiras de vinte e vinte anos apresentaram o melhor desempenho e não obtiveram a nota 5, com peças totalmente defeituosas. Em geral, as madeiras apresentaram um bom comportamento ao teste e boa adequação do maquinário e ferramentas. Acredita-se que tal desempenho poderia ser maximizado com maior adequação das madeiras com as condições das ferramentas cortantes.

11.2.4 Furação para espiga

Através da tabela 27, verifica-se que a madeira de *Eucalyptus grandis*, independentemente da idade, apresentou um bom desempenho no teste de furação para espiga. Os resultados do ensaio de furação para espiga estão apresentados na tabela 27.

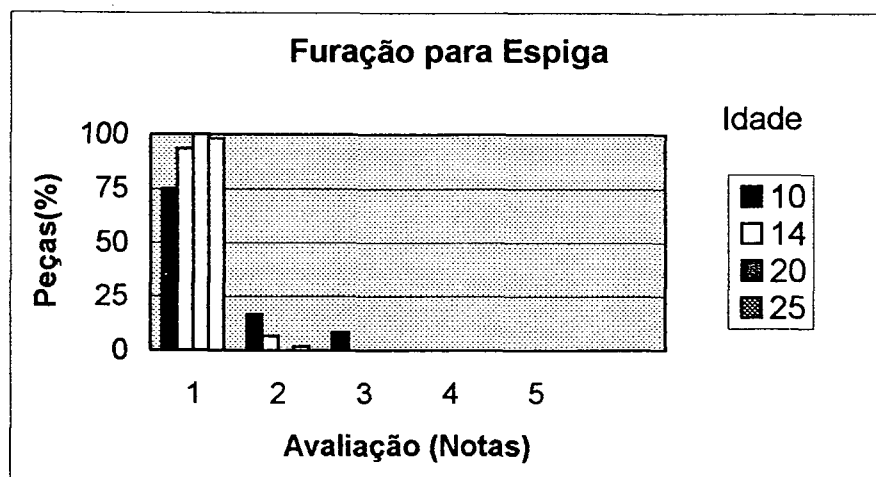
TABELA 27 - AVALIAÇÃO E PORCENTAGEM DE PEÇAS APROVADAS NOS TESTES DE FURAÇÃO PARA ESPIGA

IDADE	AVALIAÇÃO E PORCENTAGEM DE PEÇAS										MÉDIA	MÉDIA (Mann-Whitney)	PEÇAS APROVA- DAS (%)
	NOTA 1		NOTA 2		NOTA 3		NOTA 4		NOTA 5				
	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%			
10	45	75,00	10	16,67	5	8,33	0	0,00	0	0,00	1,37	a ^{1/}	91,6
14	56	93,33	4	6,67	0	0,00	0	0,00	0	0,00	1,07	b	100,0
25	59	98,33	1	1,67	0	0,00	0	0,00	0	0,00	1,02	b	100,0
20	60	100,0	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	1,00	b	100,0

^{I/} Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente, pelo teste de Mann-Whitney, com significância de 5% ($p < 0,05$).

A madeira de dez anos apresentou o pior desempenho, em função do menor número de peças com notas 1, correspondendo ao conceito “excelente”. Os resultados do ensaio de furação para espiga estão representados no gráfico da figura 31.

FIGURA 31 - COMPORTAMENTO DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis* DE DIFERENTES IDADES NO ENSAIO DE FURAÇÃO PARA ESPIGA



Através da figura 31, verifica-se que a quase totalidade das peças obteve conceito “excelente”. Verificou-se, também, que as madeiras de quatorze, vinte e vinte e cinco anos apresentaram um excelente desempenho, com 100% das peças aprovadas e que a madeira de 10 anos foi a única que obteve notas 2 e 3, correspondendo aos conceitos “muito bom e regular”. Estatisticamente, verificou-se que o teste na madeira de dez anos diferiu estatisticamente das demais idades, e as outras idades não diferiram estatisticamente entre si. Em geral, as madeiras apresentaram um excelente comportamento ao teste e verificou-se uma boa adequação do maquinário e ferramentas utilizadas. Acredita-se que tal desempenho poderia ser maximizado com maior adequação das madeiras com as condições das ferramentas cortantes. Pela análise de variância, verificou-se que a idade teve pouca influência nos resultados, reflexo do bom comportamento da madeira e do desempenho das máquinas e ferramentas ao teste.

11.2.5 Furação

Os resultados do ensaio de furação estão apresentados na tabela 28.

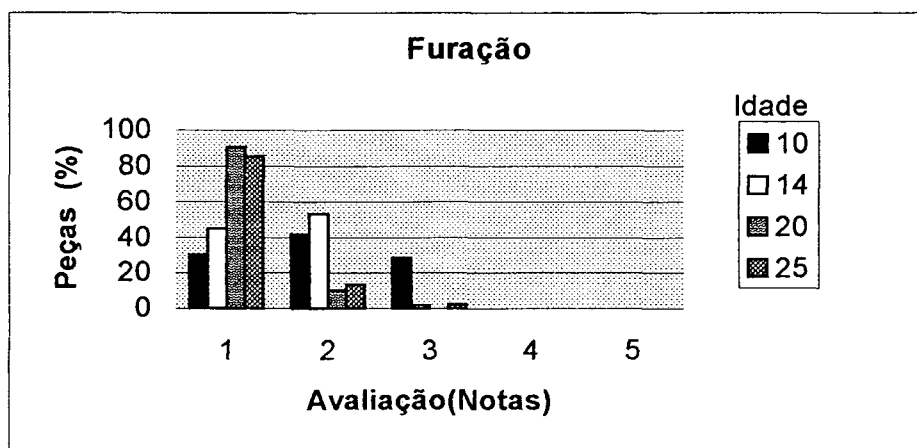
TABELA 28 - AVALIAÇÃO E PORCENTAGEM DE PEÇAS APROVADAS NOS TESTES DE FURAÇÃO

IDADE	AVALIAÇÃO E PORCENTAGEM DE PEÇAS										MÉDIA	MÉDIA (Mann-Whitney)	PEÇAS APROVA DAS (%)
	NOTA 1		NOTA 2		NOTA 3		NOTA 4		NOTA 5				
	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%			
10	18	30,00	25	41,67	17	28,33	0	0,00	0	0,00	1,98	a ^{1/}	71,7
14	27	45,00	32	53,33	1	1,67	0	0,00	0	0,00	1,57	b	98,3
25	54	90,00	6	10,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	1,17	c	100,0
20	51	85,00	8	13,33	1	1,67	0	0,00	0	0,00	1,10	c	98,3

^{1/} Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente, pelo teste de Mann-Whitney, com significância de 5% ($p < 0,05$).

Através da tabela 28, verificou-se que a madeira de *Eucalyptus grandis*, independentemente da idade, apresentou um bom desempenho no teste de furação. A madeira de dez anos apresentou o pior desempenho, com o menor número de peças com notas 1, correspondendo ao conceito “excelente”. Estatisticamente, verificou-se que o teste na madeira de dez, quatorze e vinte anos apresentou diferenças significativas entre si, embora não se observassem diferenças estatísticas significativas entre as madeiras de vinte e vinte e cinco anos. Os resultados do ensaio de furação estão representados no gráfico da figura 32.

FIGURA 32 - COMPORTAMENTO DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis* DE DIFERENTES IDADES NO ENSAIO DE FURAÇÃO



Através da figura 32, verifica-se que a quase totalidade das peças obteve conceito “excelente, exceção para a madeira de dez anos que obteve notas 2 e 3, correspondendo aos conceitos “muito bom e regular”. Embora se observassem diferenças estatísticas entre as madeiras de quatorze e vinte anos, verificou-se quase totalidade das peças aprovadas nos testes com madeiras de quatorze, vinte e vinte e cinco anos. O bom desempenho ao teste se deve à adequação da madeira às condições do maquinário e ferramentas. Acredita-se que tal desempenho poderia ser maximizado através de maior adequação das madeiras às condições das ferramentas cortantes.

11.2.6 Corte paralelo

Os resultados do ensaio de corte paralelo estão representados na tabela 29.

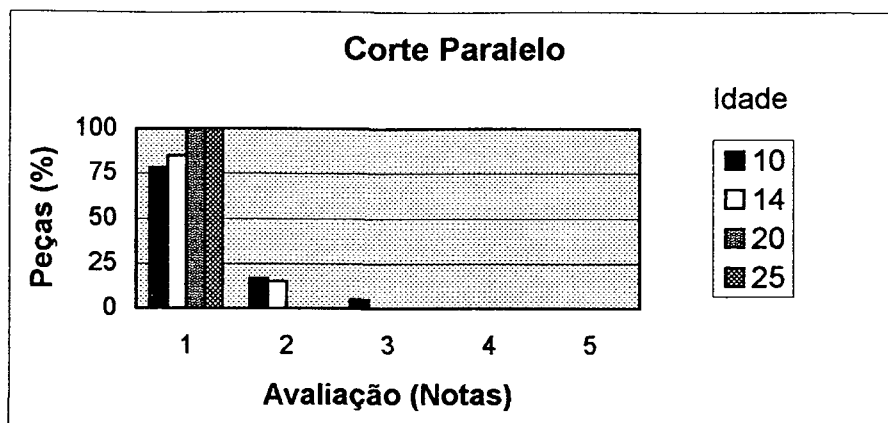
TABELA 29 - AVALIAÇÃO E PORCENTAGEM DE PEÇAS APROVADAS NOS TESTES DE CORTE PARALELO

IDADE	AVALIAÇÃO E PORCENTAGEM DE PEÇAS										MÉDIA	MÉDIA (Mann-Whitney)	PEÇAS APROVA DAS- DAS- (%)
	NOTA 1		NOTA 2		NOTA 3		NOTA 4		NOTA 5				
	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%			
10	15	78,33	35	16,67	10	5,00	0	0,00	0	0,00	1,27	a ^{1/}	83,3
14	49	85,00	11	15,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	1,15	b	100,0
25	60	100,0	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	1,0	c	100,0
20	60	100,0	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	1,0	c	100,0

^{I/} Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente, pelo teste de Mann-Whitney, em nível de significância de 5% ($p < 0,05$).

Através da tabela 29, verifica-se que a madeira de *Eucalyptus grandis*, independentemente da idade, apresentou um bom desempenho no teste de corte paralelo. A madeira de dez anos apresentou o pior desempenho, em função do menor número de peças com notas 1, correspondendo ao conceito “excelente”. Os resultados do ensaio de corte paralelo estão representados no gráfico da figura 33.

FIGURA 33 - COMPORTAMENTO DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis* DE DIFERENTES IDADES NO ENSAIO DE CORTE PARALELO



Estatisticamente, verificou-se que o teste na madeira de dez anos apresentou diferenças significativas em relação às madeiras das demais idades, o mesmo acontecendo com a madeira de quatorze anos, mas tais diferenças não foram observadas entre as madeiras de vinte e vinte e cinco anos. Pela análise de variância, verificou-se que a idade teve influência nos resultados, confirmando o bom desempenho da madeira e as condições do maquinário e das peças cortantes ao teste. Embora se observassem diferenças estatísticas entre as madeiras de quatorze e vinte anos, verificou-se a aprovação da quase totalidade das peças nos testes com madeiras de quatorze, vinte e vinte e cinco anos. Acredita-se que tal desempenho poderia ser maximizado com maior adequação das madeiras às condições das ferramentas cortantes. Através da figura 33, verifica-se que todas as peças, independente das diferentes idades, apresentaram um bom desempenho no teste de corte paralelo, à exceção para a madeira de dez anos que foi a única que obteve notas 2 e 3, correspondendo aos conceitos “bom e regular.

11.2.7 Corte transversal

Os resultados do ensaio de corte transversal estão representados na tabela 30.

TABELA 30 - AVALIAÇÃO E PORCENTAGEM DE PEÇAS APROVADAS NOS TESTES DE CORTE TRANSVERSAL

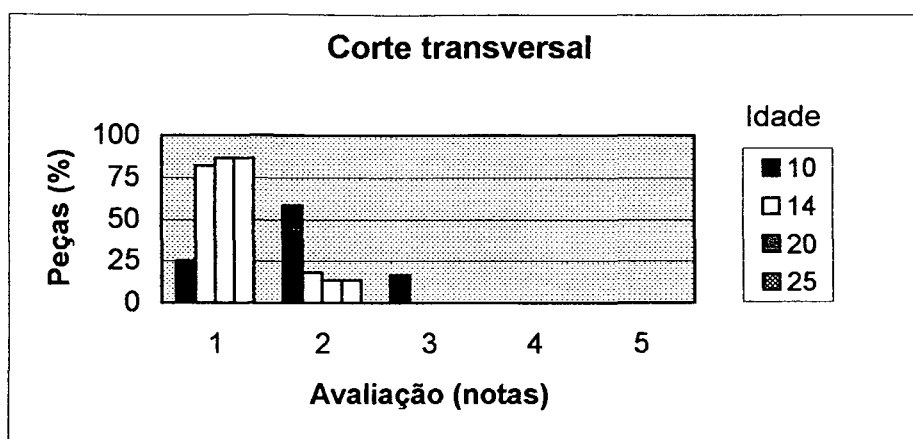
IDADE	AVALIAÇÃO E PORCENTAGEM DE PEÇAS										MÉDIA	MÉDIA (Mann-Whitney)	PEÇAS APROVA- DAS (%)
	NOTA 1		NOTA 2		NOTA 3		NOTA 4		NOTA 5				
	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%			
10	15	25,00	35	58,33	10	16,67	0	0,00	0	0,00	1,92	a ^{1/}	83,3
14	49	81,67	11	18,33	0	0,00	0	0,00	0	0,00	1,18	b	100,0
25	52	86,67	8	13,33	0	0,00	0	0,00	0	0,00	1,13	c	100,0
20	52	86,67	8	13,33	0	0,00	0	0,00	0	0,00	1,13	c	100,0

^{1/} Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente, pelo teste de Mann-Whitney, em nível de significância de 5% ($p < 0,05$).

Através da tabela 30, verifica-se que a madeira de *Eucalyptus grandis*, independentemente da idade, apresentou um bom desempenho no teste de corte transversal. A madeira de dez anos apresentou o pior desempenho, em função do menor número de peças com notas 1, correspondendo ao conceito “excelente”. Estatisticamente, verificou-se que o teste na madeira de dez anos apresentou diferenças significativas em relação às madeiras das demais idades, o mesmo acontecendo com a madeira de quatorze anos; tais diferenças, no entanto, não foram observadas entre as madeiras de vinte e vinte e cinco anos. Pela análise de variância, verificou-se que a idade teve influência nos resultados, confirmando o bom desempenho da madeira e as condições do maquinário e das peças cortantes ao teste. Os resultados do ensaio de corte transversal estão representados no gráfico da figura 34.

Através da figura 34, verifica-se que a quase totalidade das peças obteve conceito “excelente”, à exceção para o teste com a madeira de dez anos que foi o único que obteve a nota 3, correspondendo ao conceito “regular”. O bom desempenho ao teste se deve à adequação da madeira às condições do maquinário e ferramentas. Acredita-se que tal desempenho poderia ser maximizado com maior adequação das madeiras às condições das ferramentas cortantes.

FIGURA 34 - COMPORTAMENTO DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis* DE DIFERENTES IDADES NO ENSAIO DE CORTE TRANSVERSAL



12 CORRELAÇÕES

O conhecimento e a compreensão relativa da variabilidade da madeira e das suas relações têm grande importância porque fornecem subsídios para as diversas áreas da ciência florestal, como o melhoramento, a silvicultura e os diversos campos do setor industrial de base florestal. As informações geradas poderão ser utilizadas para se melhorar a qualidade da madeira na floresta, como a obtenção de matéria-prima mais homogênea e com características desejáveis para uma utilização determinada.

Segundo MOREIRA (1999), os trabalhos científicos até então realizados procuraram identificar, tão somente, algumas espécies e verificar sua viabilidade na produção de celulose e papel. Poucos são os trabalhos que procuraram relacionar os dados da estrutura anatômica e composição química com as propriedades físico-mecânicas. O estudo das características da madeira e de suas inter-relações é muito importante, em termos de entendimento do comportamento da madeira e de seu melhor aproveitamento. Segundo o mesmo autor, o interior do tronco não é uma massa homogênea e tais variações se devem à presença de alburno, cerne e madeira juvenil, gerando diferenças consideráveis em muitas propriedades da madeira. CARVALHO (1997) afirmou que vários são os parâmetros utilizados para a determinação da qualidade da madeira para um determinado uso ou um conjunto de usos. Esses parâmetros são normalmente classificados como químicos, anatômicos e físico-mecânicos. No que se refere aos parâmetros químicos, os teores de celulose, hemiceluloses, lignina, extrativos e elementos minerais têm sido considerados como os mais relevantes. No que se refere aos parâmetros anatômicos, destacam-se a porcentagem e as dimensões de fibras, vasos, raios e parênquima. No que se refere aos parâmetros físico-mecânicos, a massa específica, a retratibilidade e a resistência aos esforços de flexão estática (MOE e MOR) têm sido considerados os mais importantes, sendo características bastante complexas, resultantes da combinação de diversos fatores, incluindo a constituição anatômica, química e morfológica da madeira. O conhecimento das correlações entre esses parâmetros e das variáveis que os afetam são

de grande importância para uma correta interpretação das variações que ocorrem na madeira, visando facilitar o desenvolvimento de técnicas adequadas para a obtenção de uma matéria-prima mais homogênea e com características desejáveis para um determinado produto final.

GARLET (1995), citando vários autores, assegurou que a composição química da madeira de *Eucalyptus grandis* pode apresentar grandes variações entre árvores e dentro delas. Em relação a uma possível correlação com a massa específica básica, o autor encontrou uma relação positiva com a lignina e negativa com o teor de holocelulose. OLIVEIRA et al. (1990), trabalhando com *Eucalyptus grandis*, verificaram que a massa específica da madeira foi diretamente proporcional ao seu teor de lignina e de extrativos e inversamente proporcional ao seu teor de holocelulose. GARLET (1995), estudando o comportamento da madeira de eucalipto, afirmou que o aumento do teor de lignina e a redução no teor de hemiceluloses provocaram um aumento na massa específica básica. HILDEBRANDT (1960), MARK (1967), MOREIRA (1999) afirmaram que as propriedades mecânicas apresentam uma associação significativa com a composição química, uma vez que o grau de polimerização da cadeia de celulose está diretamente relacionado com várias propriedades mecânicas.

Segundo FOELKEL (1977), a presença de extrativos pode reduzir a instabilidade dimensional da madeira e elevar a resistência mecânica, principalmente a compressão paralela às fibras. Em se tratando de instabilidade dimensional, STAMM (1964), NEARN (1955), KOLLMANN e CÔTE (1968), MOREIRA (1999) afirmaram que madeiras ricas em extrativos são menos higroscópicas que outras, contendo menos extrativos, contribuindo para a redução da contração e inchamento. A redução é proporcional ao espaço ocupado pelos extrativos nas paredes das células. WINANDY e ROWEL (1984) verificaram que a estabilidade da madeira se deve à habilidade de a lignina limitar o acesso de água no carboidrato, diminuindo a sua influência sobre a estrutura de pontes de hidrogênio na madeira. De acordo com CHOONG (1969), a lignina e os extrativos se incrustam em torno das fibrilas de celulose, diminuindo

fortemente os espaços para a água, pois um elevado teor de moléculas fenólicas diminui a amplitude de contração da madeira.

Em termos gerais, as características anatômicas da madeira, como comprimento de fibra, espessura da parede, diâmetro do lume, proporção dos vários tipos de células e tecidos, como vasos e parênquima, possuem certa relação com a massa específica. Tal propriedade se correlaciona com as dimensões das fibras, com exceção da largura, que permanece praticamente inalterada. BARRICHELO et al. (1983) afirmaram que as madeiras de maior massa específica apresentavam maior comprimento de fibras, maior espessura de parede celular e menor diâmetro de lume. Quanto maior o diâmetro e o número de vasos na madeira, maior a área de espaços vazios. Dessa forma, suas correlações com a massa específica, quando encontradas, mostram-se negativas. Madeiras mais densas apresentam, em geral, fibras mais rígidas, com menores diâmetros e paredes mais espessas. DAVIDSON (1972), BARRICHELO e BRITO (1976), BARRICHELO (1979), VASCONCELOS DIAS e SILVA JR. (1985), SHIMOYAMA (1990), RUY (1998), ao estudarem a madeira de diversas espécies de eucalipto, concluíram que a massa específica básica pode ser indicadora da espessura da parede da fibra. VITAL et al. (1984) afirmaram que, normalmente, a densidade tende a aumentar com a idade das árvores, como consequência do aumento da espessura da parede celular e da redução da largura das células. BARRICHELO et al. (1983) afirmaram que, em termos gerais, as características anatômicas da madeira possuem certa relação com a massa específica, definindo certos padrões de qualidade da madeira para determinados usos. Tais dimensões estão correlacionadas entre si: o comprimento de fibra está diretamente correlacionado com a espessura da parede e inversamente correlacionado com o diâmetro do lume; por outro lado, a fibra que apresenta maior diâmetro de lume é, em geral, menos espessa.

A largura das fibras é uma característica que deixa dúvida quanto à sua relação com a massa específica: se as fibras possuírem diâmetros grandes e paredes espessas, encontrar-se-ão correlações positivas; se, ao contrário, as fibras forem largas, mas com paredes finas, a correlação será negativa. O diâmetro do lume depende da largura e da espessura da parede das fibras: quanto maior o seu valor, mais espaços vazios serão

encontrados na madeira e, conseqüentemente, menor massa específica básica. Quanto maior o diâmetro e o número de vasos na madeira, maior a área de espaços vazios; suas correlações com a massa específica básica, nesse caso, quando encontradas, mostrar-se-ão negativas.

BENDTSEN e SENFT (1986) afirmaram que as diferenças anatômicas, em relação às mudanças lenho juvenil/adulto, são mais acentuadas nas coníferas que nas folhosas. A mudança no comprimento de fibras em folhosas é de, aproximadamente, o dobro, enquanto que nas coníferas, a alteração no comprimento corresponde o seu triplo ou quádruplo; nas folhosas, o ângulo fibrilar se altera de 28 para 10°, enquanto nas coníferas o ângulo fibrilar muda de 55 para 20°. Os mesmos autores afirmaram que, na região da medula ou próximo dela, as fibras são mais curtas, apresentam menores diâmetros e, geralmente, paredes mais finas. Nessa região, o ângulo fibrilar é maior e diminui rapidamente em direção à casca. Nessa direção, ocorre um aumento rápido do diâmetro dos vasos.

CHIMELO (1980), procurando relacionar as propriedades mecânicas e massa específica, verificou um alto nível de associação estatística entre a massa específica e as propriedades de resistência à flexão estática (módulo de ruptura e módulo de elasticidade), compressão paralela e perpendicular às fibras, cisalhamento e dureza paralela e transversal às fibras. MOREIRA (1999), em estudo com várias espécies, verificou que as propriedades mecânicas apresentaram correlações significativas com muitas das características anatômicas, principalmente à proporção de fibras e vasos; o módulo de elasticidade à flexão estática, em especial, apresentou boas relações com fibras, raios e teor de lignina.

12.1 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores encontrados no presente trabalho estão de acordo com os normalmente encontrados na literatura, confirmando-se as correlações existentes entre as variações de idade e de posição radial com várias propriedades. À exceção do teor de holocelulose, largura de fibras, diâmetro de lume, frequência de vasos e resistência

natural a cupins de madeira seca, todos os demais testes apresentaram uma correlação positiva com a idade, conforme os dados apresentados na tabela 31.

TABELA 31 - COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DE PEARSON ENTRE DIVERSAS PROPRIEDADES DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis* EM RELAÇÃO À IDADE E POSIÇÃO RADIAL

PROPRIEDADES	N	COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO PEARSON			PROBABILIDADE (95%)		
		IDADE	M - C	B - T	IDADE	M-C	B - T
. Massa específica básica	768	0,4481	0,5377	-	0,0000	0,0000	-
. Massa específica aparente	512	0,4140	0,5883	-	0,0000	0,0000	-
. Extrativos totais	96	0,4254	-	-0,6573	0,0000	-	0,0000
. Lignina total	96	0,3394	-	-0,4581	0,0010	-	0,0000
. Holocelulose	96	-0,4159	-	0,5940	0,0000	-	0,0000
. Comprimento de fibras	4.800	0,2251	0,5935	-	0,0000	0,0000	-
. Largura de fibras	4.800	-0,1515	0,2414	-	0,0000	0,0000	-
. Diâmetro do lume	4.800	-0,2354	-0,0313	-	0,0300	0,0030	-
. Espessura da parede	4.800	0,1177	0,3911	-	0,0000	0,0000	-
. Diâmetro de vasos	240	0,1705	0,7653	-	0,0000	0,0000	-
. Frequência de vasos	240	-0,1805	-0,7686	-	0,0050	0,0000	-
. Contração volumétrica	768	0,1643	0,6621	-	0,0000	0,0000	-
. Contração radial total	768	0,1128	0,5902	-	0,0030	0,0000	-
. Contração tangencial	768	0,1420	0,6343	-	0,0000	0,0000	-
. Contração longitudinal	768	0,2260	0,0088	-	0,0000	0,8520	-
. Fator anisotrópico	768	0,0677	-0,0801	-	0,0780	0,0370	-
. Módulo de elasticidade,	512	0,3799	0,4859	-	0,0000	0,0000	-
. Módulo de ruptura	512	0,3061	0,6073	-	0,0000	0,0000	-
. Resistência a cupins	192	0,4263	-	-	0,0060	-	-
. Aplainamento	256	0,2221	-	-	0,0010	-	-
. Fresagem	256	0,4065	-	-	0,0000	-	-
. Cópia de perfil	256	0,2251	-	-	0,0000	-	-
. Furação para espiga	256	0,2980	-	-	0,0000	-	-
. Furação	256	0,5080	-	-	0,0000	-	-
. Corte paralelo	256	0,3077	-	-	0,0000	-	-
. Corte transversal	256	0,4061	-	-	0,0000	-	-

NOTA: M - C sentido medula-casca; B - T sentido base-topo
Em negrito = não significativo a 95% de probabilidade de erro.

Verificou-se que a massa específica, os teores de extrativos e lignina, módulo de elasticidade, módulo de ruptura e todos os testes de usinagem foram os testes que apresentaram a maior correlação com a idade; em contrapartida, o teor de holocelulose e resistência natural ao ataque de cupim de madeira seca mostraram os maiores valores inversamente correlacionados com a idade.

Em relação à posição radial no sentido medula-casca, verificou-se que, à exceção do diâmetro do lume, frequência de vasos e fator anisotrópico, todos os demais testes apresentaram uma correlação positiva com a idade. Verificou-se que os valores apresentados para a variação radial foram superiores aos encontrados para a variação da idade, confirmando-se as mesmas tendências apresentadas nas discussões anteriores, em que a análise de variância quase sempre detectava valores mais significativos para o efeito da variação radial, ao explicar as variações entre as diferentes idades e posições estudadas. Os coeficientes de correlação estão apresentados na tabela 31.

À exceção dos testes de fator anisotrópico, em relação à idade, e dos testes de contração longitudinal, em relação à posição radial, todos os demais testes apresentaram uma correlação com a idade e a posição, a 95% de probabilidade de erro.

O diâmetro de lume, o fator anisotrópico e, principalmente, a frequência de vasos se apresentaram inversamente correlacionados com a posição radial no sentido medula-casca. Destacaram-se os altos valores de correlação positiva do comprimento de fibras e diâmetros de vasos com a variação radial no sentido medula-casca. Em relação à variação no sentido base-topo, verificou-se que os teores de extrativos e lignina se mostraram inversamente correlacionados com tal variação; em contrapartida, o teor de holocelulose se mostrou altamente correlacionado com a variação no sentido longitudinal. Dentre os elementos anatômicos estudados, o comprimento de fibras, a espessura de parede e o diâmetro de vasos se mostraram altamente correlacionados, de forma positiva, com a posição radial; em contrapartida, a frequência de vasos se mostrou altamente correlacionada, de forma negativa, com a posição radial.

À semelhança da massa específica, as propriedades de resistência mecânica (MOE e MOR) apresentaram os maiores índices de correlação positiva com a idade e, principalmente, com a variação radial no sentido medula-casca. Os dados apresentados no anexo 22 comprovam os altos valores de correlação positiva entre a massa específica e as propriedades de resistência mecânica. Alguns fatores supostamente não importantes para massa específica, como ângulo de grã, ângulo de microfibrila e defeitos microscopicamente imperceptíveis, passam a sê-lo nas propriedades mecânicas. Destacaram-se, também, os altos valores de correlação positiva do comprimento de fibras, diâmetro dos vasos, contração volumétrica total e as contrações lineares radial e tangencial com a variação radial.

Todos os ensaios de usinagem apresentaram uma correlação positiva com a idade, destacando-se os ensaios de furação, fresagem e corte transversal. Alguns valores não foram tão altos, em função da falta de maior adequação das características da madeira com as condições das máquinas, equipamentos e peças cortantes.

13 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Na tabela 32, encontram-se resumidos os resultados dos diferentes ensaios realizados no presente trabalho, considerando-se as idades estudadas (dez, quatorze, vinte e vinte e cinco anos) e as variações dentro da árvore.

TABELA 32 - RESUMO DO COMPORTAMENTO DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis* DE DIFERENTES IDADES E POSIÇÕES DENTRO DA ÁRVORE

ENSAIO	IDADE	POSIÇÕES DENTRO DA ÁRVORE	
		MEDULA-CASCA	BASE- TOPO
Densidade básica	Cresce	Cresce	----
Densidade aparente	Cresce	Cresce	----
Extrativos totais	Cresce	----	Cresce
Lignina total	Cresce	----	Cresce
Holocelulose	Decresce	----	Decresce
Comprimento de fibras	Cresce	Cresce	----
Largura de fibras	Decresce	Cresce	----
Diâmetro do lume	Decresce	Cresce	----
Espessura da parede	Cresce	Cresce	----
Diâmetro de vasos	Cresce	Cresce	----
Frequência de vasos	Decresce	Decresce	----
Contração volumétrica	Cresce	Cresce	----
Contração radial	Cresce	Cresce	----
Contração tangencial	Cresce	Cresce	----
Contração longitudinal	Cresce	Cresce	----
Fator anisotrópico	Cresce	Cresce	----
Módulo de elasticidade	Cresce	Cresce	----
Módulo de ruptura	Cresce	Cresce	----
Resistência a cupins	Cresce		----
Aplainamento	Cresce	----	----
Fresagem	Cresce	----	----
Cópia de perfil	Cresce	----	----
Furação para espiga	Cresce	----	----
Furação	Cresce	----	----
Corte paralelo	Cresce	----	----
Corte transversal	Cresce	----	----

Baseado nos resultados apresentados na tabela 32, pode-se concluir que:

- a) A idade se mostrou positivamente correlacionada com quase todos os ensaios envolvidos, à exceção do teor de holocelulose, largura de fibras, diâmetro de lume e frequência de vasos, que decresceram com a idade.
- b) As propriedades de resistência mecânica (MOE e MOR) apresentaram uma correlação positiva com a massa específica, e idêntica correlação foi observada em relação à idade e variação no sentido medula-casca.
- c) As alterações observadas no sentido radial para todos os ensaios foram mais evidentes do que as alterações observadas entre as diferentes idades;
- d) Às alterações decorrentes da influência da variação da idade somam-se, também, as influências das variações ambientais, edáficas e de base genética.
- e) Embora a madeira de dez anos pudesse ser utilizada na indústria moveleira, demonstrou um comportamento inadequado nessa atividade, em função de valores muito reduzidos nas suas propriedades ligadas à massa específica, resistência mecânica, estabilidade dimensional, resistência natural ao ataque de cupins e ensaios de usinagem.
- f) A madeira de quatorze anos, embora apresentasse valores de algumas propriedades adequados para a indústria moveleira, de uma maneira geral, mostrou-se, ainda, incipiente para tal uso.
- g) Muitas das propriedades estudadas no presente trabalho apresentaram valores mais reduzidos para a madeira de vinte e cinco anos, em relação à madeira de vinte anos, possivelmente, em função das diferentes condições edáficas, bases genéticas e tratos silviculturais.
- h) As madeiras de vinte e vinte e cinco anos apresentaram um comportamento semelhante e mostraram-se aptas para a utilização na indústria moveleira.
- i) A madeira de vinte anos, dentre as idades testadas, apresentou as melhores características para a utilização da indústria moveleira.
- j) Todos os ensaios de usinagem apresentaram uma correlação positiva com a idade.

- k) A idade não pode ser considerada critério exclusivo para qualificar a madeira.
- l) j) Mediante uma gestão adequada de produção, a madeira de *Eucalyptus grandis* apresentou-se como matéria-prima homogênea, boa adequação às demandas tecnológicas da indústria moveleira, com as possibilidades de produção regionalizada, substituição das espécies nativas tradicionais, além de múltiplos usos da floresta e de seus produtos.

Com base nos estudos e conclusões deste trabalho, recomendam-se:

- a) Estudar outras propriedades da madeira que não foram contempladas neste trabalho, como propriedades de acabamento, outras propriedades mecânicas, outros testes de usinagem.
- b) Envolver o estudo de idades intermediárias de corte entre quatorze e vinte anos.
- c) Incluir nas análises outras implicações que possam ser relevantes, como efeitos de tratos silviculturais, programas de melhoramento, técnicas diversificadas de desdobro, secagem, colagem etc.
- d) Diminuir fontes de variação do material testado, utilizando-se a mesma base genética e idênticas situações de local e tratos silviculturais.
- e) Desenvolver estudos de viabilidade técnico-econômica para se determinar a melhor idade de corte, visando criar alternativas para a indústria madeireira e moveleira.
- f) Ter cautela na extrapolação dos dados, por se tratar de situações muito específicas, em vista do material e das técnicas de avaliação utilizadas.
- g) Realizar pré-testes para identificar a melhor combinação dos fatores envolvidos no trabalho de usinagem da madeira, como avanço por dente, velocidade de avanço, rotação do eixo, ângulo de corte, tipo de ferramenta entre outras.
- h) Utilizar métodos não destrutivos para possibilitar o planejamento florestal, acompanhando o processo de formação e desenvolvimento da madeira.

- i) Ampliar a base de informação sobre as possibilidades de utilização da madeira serrada de eucalipto, principalmente na indústria moveleira e construção civil.

REFERÊNCIAS

- ABNT - **MB-26/40**: ensaios físicos e mecânicos da madeira. Rio de Janeiro, 1940. 16p.
- ACOSTA, M. S. Estado de la tecnologia en usos no tradicionales de la madera de eucalipto en el Mercosur y outros paises. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUTOS SOLIDOS DE MADEIRA DE ALTA TECNOLOGIA, 1998, Belo Horizonte; ENCONTRO SOBRE TECNOLOGIAS APROPRIADAS DE DESDOBRO, SECAGEM E UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO, 1., 1998, Belo Horizonte. *Anais....* Viçosa: SIF/UFV/DEF, 1998. p. 82-105.
- ALFONSO, V.A. **Caracterização anatômica do lenho e da casca das principais espécies de *Eucalyptus* L'Hérit cultivados no Brasil**, São Paulo, 1987. 188f. Tese (Doutorado, Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo).
- AMARAL, A .C.B **Implantação da metodologia de densitometria de raios-x em madeira**. Piracicaba. 1994. 109f. Dissertação (Mestrado, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo).
- ANDRADE, E. N. **O eucalipto**. Jundiaí. Companhia Paulista de Estradas de Ferro. 1961. 2.ed. 667p.
- ANDRADE, M.C.D. **Variação das características das fibras em função da densidade básica de cavacos de madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex.Maiden**. Botucatu (SP), 1987, 43f. Dissertação (Mestrado – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita).
- ASHLEY, P.N. & OZARSKA, B. Furniture from young, plantation grown Eucalyptus. In: THE FUTURE OF EUCALYPTS FOR WOOD PRODUCTS. Launceston, Tasmania. **Proceedings...** Launceston, IUFRO, 2000. p. 150-158.
- ASSIS, T. F. Aspectos do melhoramento de *Eucalyptus* para a obtenção de produtos sólidos da madeira. In: WORKSHOP SOBRE TÉCNICAS DE ABATE, PROCESSAMENTO E UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO, 1., 1999, Viçosa. *Anais...* Viçosa: SIF/UFV/DEF, 1999, p.61-72.
- ASTM - Annual book of ASTM standards - Section 4: Construction, Philadelphia. 1994, v. 4, t. 9.
- ASTM - Annual book of ASTM standards - Standard Methods for Conducting Machining Tests of Wood and Wood Base Materials.. ASTM D 1666-87, Philadelphia. 1995, v.4., t. 10, p. 226-245.

BAMBER, R.K. & HUMPHREYS, F. R. A preliminary study of some wood properties of *Eucalyptus grandis* Hill ex.Maiden, Madison, **Wood and Fiber Science**, v. 11, p. 63-70. 1963.

BARRICHELO, L.E.G. e BRITO, J. O. A madeira das espécies de eucalipto como matéria-prima para a indústria de celulose e papel. Brasília: PRODEPEF, 1976, 145p. (Série de Divulgação, n. 13).

BARRICHELO, L.E.G.; BRITO, J. O.; MIGLIORINI, A . J. Estudo da variação longitudinal da densidade básica de *Eucalyptus spp*. **Silvicultura**, São Paulo, v. 8, n. 28, p. 726-731. 1983.

BENDTSEN, B. A.; SENFT, J. Mechanical and anatomical properties in individual growth ring of plantation grown eastern cottonwood and loblolly pine. Madison, **Wood and Fiber Science**, v. 18, n. 1, p. 23-38. 1986.

BHAT, K. M. et al. – Wood density and fiber lenght of *Eucalyptus grandis* grown in Kerala, India. **Wood and Fiber Science**, Madison, v. 22, n. 1, p. 54-61. 1990.

BLAND, D. E. The Relation of lignin and polyphenol contents of Tasmanian Alpine Ash (*Eucalyptus delegatensis* R.T. Blake) to shrinkage and recovery, **Wood Science Technology**, Madison, v. 5, p. 17-26. 1971.

BLAND, D.E. The composition and analysis of Eucalyptus woods, **Appita**, Canberra, v. 38, n. 4, p. 291-294. 1985.

BONDUELLE, Arnaud Usinagem, qualidade e custo. **Revista da Madeira**, Curitiba, v. 11, n. 61, p. 82-86. 2001.

BOUVET, J. Effect of spacing on juvenile growth and variability of eucalyptus clones. **Canadian Journal of Forestry Research**, Montreal, 27, p.174-179.1997.

BURGER, M. L. e RITCHTER, H. G. **Anatomia da Madeira**. São Paulo: Nobel, 1991. 154p.

CALORI, J. W.; FIER, I. S. N.; KIKUTI, P. Estudo das propriedades físico-mecânicas da madeira de *Eucalyptus grandis* em diferentes idades. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRAS, 5, 1995, Belo Horizonte.**Anais...** Belo Horizonte: EBRAMEM-EESC/USP, 1995. 116p.

CALORI, J. V.; KIKUTI, P. Propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus dunnii* aos 20 anos de idade. In: CONFERÊNCIA IUFRO SOBRE SILVICULTURA E MELHORAMENTO DE EUCALIPTOS, 1997. Salvador. **Anais...** Salvador: EMBRAPA/IPEF, 1997. pg. 321-326.

CAMARGO, F. R. A . et al. Caracterização tecnológica da madeira de povoamento de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. In: CONGRESSO ANUAL DE PAPEL CELULOSE. AnaisSão Paulo: ABCP, 1987. p. 1-15

CAÑEDO, M. D.; LELIS, A. T. Laboratory tests on material resistance to *Cryptotermes brevis* (Walker) attack of native hardwoods for crossarms production. São Paulo: IPT, 1985. 7p.

CARMO, A. P. T. Avaliação de algumas propriedades da madeira de seis espécies de eucalipto. Viçosa (MG), 1996. 74f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Viçosa).

CARPIM, M. A .; BARRICHELO, L.E.G. Variabilidade da densidade da madeira de *Eucalyptus* sp. In: CONGRESSO LATINO- AMERICANO DE CELULOSE E PAPEL, 3, 1983. Anais.... São Paulo: ABCP, 1983. v. 1, 11p.

CARVALHO, H. G. Efeito da idade de corte da madeira e de variáveis de refino nas propriedades da celulose kraft branqueada de eucalipto. Viçosa (MG), 1997, 104f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Viçosa).

CETEMO A madeira de eucalipto na indústria moveleira. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUTOS SÓLIDOS DE MADEIRA DE ALTA TECNOLOGIA, Belo Horizonte, 1998; ENCONTRO SOBRE TECNOLOGIAS APROPRIADAS DE DESDOBRÓ, SECAGEM E UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO, 1., 1998, Belo Horizonte. Anais.... Viçosa: SIF/UFV/DEF, 1998, p. 191-195.

CHAFE, S. C. Growth stress in trees. *Australian Forest Research*, Canberra, v. 9, p. 293-333, 1979.

CHAFE, S. C. Collapse, volumetric shrinkage, specific gravity and extractives in *Eucalyptus* and other species. *Berlin, Wood and Science and Technology*, v. 21, p.27-41.1987.

CHAFE, S. C. Relationships between shrinkage and specific gravity in the wood of *Eucalyptus*. *Australian Forestry*, Melbourne. v. 57, p. 59-61. 1994 .

CHIMELO, J. P. Development of a probability-based computerized characterization system for identification and for property prediction of selected tropical hardwoods. Blacksburg, 1980.206f. Tese (Doutoramento Virginia Polytechnic Institute and State University)

CHOONG, E. T. Effect of extractives on shrinkage and other higroscopic of ten southern pine woods. *Madison, Wood and Fiber Science*, v. 1, n. 2, p. 124-133. 1969.

COPANT – Descripción de características generales, macroscópicas de las maderas angiospermas dicotiledóneas. **COPANT**, v. 30, p. 1-19, 1974.

COSTA, E. M. A madeira de eucalipto na indústria moveleira. In: SEMINÁRIO SOBRE PROCESSAMENTO E UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE REFLORESTAMENTO, 1996. Curitiba. **Anais....**Curitiba: ABPM/ SBS, 1996. p. 75-89.

COUTO, H. T. Z. Manejo de florestas e sua utilização na serraria. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, 1995, São Paulo. **Anais...** São Paulo: IPEF/IPT/ IUFRO/ LCF/ ESALQ/ USP, 1995. p. 21-30.

COWN, D. J. Radiata pine: wood age and property concepts. Rotorua, New Zealand **Journal of Forestry Science**, v. 10, n. 3, p. 504-507. 1980.

COWSE, J. Handbook on Eucalyptus growing. The Wattle Research Institute. Pietermaritzburg, Natal, 1972. 164p.

CRUZ, C. R. **Caracterização da madeira de clones de Eucalyptus para utilização na indústria madeireira**. Curitiba. 2000. 61f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná).

DADSWELL, H. E. The anatomy of eucalypt wood. Melbourne, **Forest Products Laboratory**, CSIRO, n. 66, p. 1-28. 1972.

D'ALMEIDA, M. L. O. Composição química dos materiais lignocelulósicos. In: **CELULOSE E PAPEL – TECNOLOGIA DE FABRICAÇÃO DA PASTA CELULÓSICA**. IPT, v. 1. 1988, p. 45-106.

DAVIDSON, J. **Variation, association and inheritance of morphological and wood characters in improvement program for *Eucalyptus deglupta***. Sidney, 1972, 263f. Tese (Doutoramento, Australia University).

DELLA LUCIA, R. M.; VITAL, B. R. Características físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex. Maiden. **Revista Árvore**, Viçosa (MG), v. 4, n. 1, p. 70-74. 1980.

DELLA LUCIA, R. M.; VITAL, B. R. Propriedades físicas e mecânicas da madeira de três regiões do tronco de *Eucalyptus saligna* SM. **Revista Árvore**, Viçosa (MG), v. 7, n. 1, p. 71-75. 1983.

DINWOODIE, J. M. Growth stresses in timber: a review of literature. **Forestry**, London, v. 39, n. 2, p. 162-170. 1966.

DÉON, G. **Manual de Preservação de Madeiras em Clima Tropical** Nogent. Sur Marne, França, Centre Technique Forestier Tropical,, ITTO, 1989, 116p (Série Técnica, 3).

DURLO, M. A.; MARCHIORI, J. N. C. **Tecnologia da madeira: retratibilidade**. Santa Maria: CEPEF/FATEC, 1992. 33p. (Série Técnica, 10).

EDWARDS, D. W. Defects of fast-grown eucalypts in New South Wales. In: IUFRO MEETINGS DIVISION, 5, 1973, Pretoria, **Proceedings...**, Pretoria, IUFRO. 1973. v. 2, p. 256-270.

ELEOTÉRIO, E. S. R. **Levantamento e identificação de cupins (Insecta: Isoptera) em área urbana de Piracicaba, SP** Piracicaba (SP), 2000. 102f. Dissertação (Mestrado, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo).

ENGLERT, G. H. Framework of qualitative relationship in wood utilization. Madison, **Forest Products Laboratory, Research Paper FFP 45**. 1966, 16p.

EVANS, J. **Plantation forestry in the tropics**. 2.ed: Oxford, Clarendon Press, 1992. 403p.

FERNANDES, P. S. **Variação da densidade da madeira e suas relações com as tensões de crescimento em progênie de Eucalyptus urophylla S.T. Blake**. Piracicaba (SP), 85f. 1982. Dissertação (Mestrado, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo).

FERREIRA, M.; KAGEYAMA, P.Y. Melhoramento genético da densidade da madeira de eucalipto. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 3, São Paulo, **SILVICULTURA**, v. 14, n. 14, p. 148-152, 1978.

FOELKEL, C. E. B. **Qualidade da madeira**. Viçosa (MG). CENIBRA. 1977, 60p. **FOREST PRODUCTS LABORATORY. Wood handbook: wood as engineering material**. Washington: U.S. Department of Agriculture, 1974..521p. (Agriculture Handbook, 72).

GARLET, V. N. **Influência do espaçamento das árvores de Eucalyptus grandis na qualidade da madeira para a produção de polpa celulósica kraft**. Viçosa (MG), 1995. 95f. Dissertação (Mestrado, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Viçosa).

GÉRARD, J. et al.. Qualité du bois chez les eucalyptus de plantation – Etude de variation de trois propriétés de référence. **Bois et Forêts des Tropiques**, Nancy, n. 245, p. 101-111, 1995.

GOLDSCHIMILD, O. Ultraviolet spectra. In: SARKANEN, K. V.; LUSWIG, C. H. Eds **Lignins**. New York: Wiley Interscience, 1971, p.241-246

GOMIDE, J. L.; DEMUNER, B. J. Determinação do teor de lignina em material lenhoso: método klason modificado. **O Papel.**, São Paulo, v. 47, n. 8, p. 36–38. 1986.

GONÇALEZ, J. C. **Characterization technologique de quatre especes peu connues de la Foret Amazonienne: anatomie, chimie, couleur, propriétés physiques et mecaniques**. Nancy, 1993. 444f. These (Doctorat Ecole Nationale du Gene Rural des Eaux et des Forets (ENGREF).

GONZAGA, J. V. et al. Caracterização da qualidade da madeira de procedências de *Eucalyptus grandis* introduzidas na região de Guaíba – RS. In: CONGRESSO ANUAL DA ABCP, São Paulo. **Anais...** São Paulo, ABCP, 1982, p. 103-124.

HANS A. S.; BURLEY, J. Wood quality of *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden grown in Zambia, Berlim, **Holzforschung**, v. 26, p.138-141. 1972.

HILDEBRANDT, G. The effect of growth conditions on the structure and properties of wood. In: WORLD FOR CONGRESS SEATTLE, 5, **Proceedings...** Washington: IUFRO, 12p. 1960.

HILLIS, W. E **Wood extractives and their significance to the pulp and paper industries**. New York: Academic Press, 1962. 513 p.

HILLIS, W. E.; BROWN, A. G. *Eucalyptus* for wood production. Melbourne: **CSIRO**, 1978, 434p.

HILLIS, W. E. Wood quality and growing to meet market requirements. In: The Future of Eucalypts for Wood Products. 2000, Launceston, Tasmania. **Proceedings...** Launceston: IUFRO, p. 256 – 264.

HIGGINS, H. G. Pulp and paper. In: *Eucalyptus* for Wood Production, Melbourne, **CSIRO** p. 290-316, 1978.

IPT. Métodos de ensaios e análise em preservação de madeira: ensaio acelerado de laboratório da resistência natural ou de madeira preservada ao ataque de térmitas do gênero *Cryptotermes* (Fam. Kalotermitidae). São Paulo, **IPT**, 1980. 1 p. (Publicação IPT, 1157)

IPT. Caracterização tecnológica de madeira de eucalipto para utilização no setor habitacional, São Paulo, **IPT**. 1989. 24p (Relatório, 27355).

JANKOWSKY, I. P. **Influência da densidade básica e do teor de extrativos na umidade de equilíbrio da madeira.** Piracicaba (SP), 1979. 87f. Dissertação (Mestrado, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo).

KIKUTI, P.; FIER, I. S. N.; CALORI, J. V. .Produção de madeiras de reflorestamento de alta qualidade. In: SEMINÁRIO SOBRE PROCESSAMENTO E UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE REFLORESTAMENTO, 1996, Curitiba. **Anais....** Curitiba:ABPM/ SBS, 1996. p. 53-58.

KLOCK, U. Qualidade da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* H. E. Moore. Curitiba, 275f. 2000. Tese (Doutorado em Ciências Florestais, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná).

KNIGGE, W.; KOLTZENBURG, C. The influence of timber qualities and ecological conditions on the cell sizes and the proportions of types of cell in hardwoods in the temperate zones. **Proceedings... IUFRO**, 1965. n. 2, p. 1-24

KOKUREK, M. J.; STEVENS, F. **Properties of fibrous raw materials and their preparation of pulping.** 3^a. ed. 1983 . 174p. (Pulp and Paper Manufacture, 1).

KOLLMANN, F. F. P.; COTÊ, W. A. **Principles of wood science and technology.** Berlim: Springer-Verlag, 1968. v. 1, 592p.

KRAMER, P. J.; KOZLOWSKI, T. T. **Physiology of woody plants.** New York: Academic Press, 1979, 745p.

KUCERA, B. A hypothesis relating current annual eight increment to juvenile wood formation in norway spruce. Madison, **Wood and Fiber Science**, v. 26, n. 1, p. 152-167. 1994.

LELIS, A. T. Termite problem in São Paulo city Brazil. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL UNION FOR THE STUDY OF SOCIAL INSECTS, 12., 1994 Paris, **Proceedings....**, Paris:IUFRO,1994, p. 34-39.

LELLES, J. G.; SILVA, J. C. Problemas e soluções sobre rachaduras de topo de madeiras de *Eucalyptus* sp. nas fases de desdobro e de secagem. In: **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 18, n. 186, p. 62-69, 1997.

LEPAGE, E. S. Química da Madeira. In: **MANUAL DE PRESERVAÇÃO DE MADEIRAS.**, São Paulo: IPT, 1986. p 69-97

LIMA, T. G. **Variações no sentido radial e longitudinal de algumas propriedades das madeiras de *Eucalyptus microcorys* F. Muell e *Eucalyptus pilularis* Sm.** Viçosa (MG), 1995.106f. Dissertação (Mestrado – Universidade Federal de Viçosa).

LIMA, J. T.; BREESE, M. C.; CAHALAN, C. M. Variation in wood density and mechanical properties in *Eucalyptus* clones. In: THE FUTURE OF EUCALYPTS FOR WOOD PRODUCTS. 2000, Launceston, Tasmania. **Proceedings...** Launceston: IUFRO. 2000, p. 282-291.

LYPTUS – Recomendações técnicas de usinagem, colagem e acabamento. 17p. 2002 (folder).

LISBOA, C. D. J. **Estudo das tensões de crescimento em toras de *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden.** Curitiba, 275f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná).

MAEGLIN, R. R. Juvenile wood, tension wood and growth stresses effects on processing hardwoods. In: ANNUAL HARDWOOD SYMPOSIUM OF THE HARDWOOD RESEARCH COUNCIL, 15, Memphis, 1987. **Proceedings ...** Memphis: IUFRO. 1987, p. 100-108.

MALAN, F. S. *Eucalyptus* improvement for lumber production. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, 1995, São Paulo. **Anais...** São Paulo: IPEF/IPT/IUFRO/LCF/ ESALQ/ USP. 1995, p. 1-19.

MANGIERI, H. R. & DIMITRI, M. J. **Los eucaliptos em la silvicultura.** Buenos Aires; Editora ACME, 1958. 213p.

MARCATI, C. R. **Estudo da anatomia e das propriedades tecnológicas da madeira do angico-vermelho (*Piptadenia peregrina* Benth).** Viçosa (MG), 1992. 94f. Dissertação (Mestrado, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Viçosa)

MARQUES, C. G. Aspectos tecnológicos para definição do Projeto TECFLOR. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUTOS SÓLIDOS DE MADEIRA DE ALTA TECNOLOGIA, Belo Horizonte, 1998; ENCONTRO SOBRE TECNOLOGIAS APROPRIADAS DE DESDOBRO, SECAGEM E UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO, 1., 1998, Belo Horizonte. **Anais....** Viçosa: SIF/UFV/DEF. 1998, p. 119-124.

MASSERANN, C.; MARIAUX, A. Anisotropie de retrait et structure du bois - recherche d'influence des caractères morphologiques transverses des fibres. **Bois et Forêts des Tropiques**, Paris, n. 209, p. 35-47, 1985.

MATOS, J. L. M. **Estudos sobre a produção de painéis estruturais de lâminas paralelas de *Pinus taeda* L.** Curitiba, 1997. 117f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná).

MAZZEI, F. M. & OVERBECK, W. Investigação da influência da idade nas características físicas e químicas do lenho e das pastas celulósicas de *Eucalyptus saligna*. IPT, São Paulo, v. 758, p. 1-26. 1966.

MATEUS, T. J. E. As características das madeiras nas relações com as aplicações. Lisboa. Instituto de Produtos Florestais, 1977. p. 11-19 (Boletim Técnico, 14).

MELLO, G. R. **Processamento mecânico de madeira**. Piracicaba, IPEF, 1978. 88p.

MENDONZA, I. E. L. Experiencia chilena en el utilization de eucalipto. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, Piracicaba, 1995. **Anais...** Piracicaba: IPEF/IPT/IUFRO/LCF-ESALQ-USP. 1995, p.92-108.

MOREIRA, W. S. **Relações entre propriedades físico-mecânicas e características anatômicas e químicas da madeira**. Viçosa (MG), 1999, 107f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais, Universidade Federal de Viçosa).

MOREY, P. R. **O crescimento das árvores**. São Paulo: EDUSP, 1981. 78p.

NAHUZ, M. A. R. et al. Variação da densidade básica de acordo com a idade em *Eucalyptus* spp. Do Distrito Federal de Mato Grosso do Sul- MS. In: IUFRO CONGRESS, Águas de São Pedro. **Anais....** Águas de São Pedro (SP), SBS. 1980, 26p.

NEARN, W. J. **Effect of water extractives on the volumetric shrinkage and equilibrium moisture content of eleven tropical and domestic woods**. Pennsylvania State University, 1955. 37p. (Bulletin n. 598)

NICHOLSON, J. E. Growth stresses differences in Eucalypts. **Forest Science** 19, v. 3, p. 169-174.1973.

OBAYASHI, H.; SHIOKURA, T. Wood anatomical characteristics and density of fast-growing tropical tree species in relation to growth rates. In: PACIFIC REGIONAL ANATOMY CONFERENCE,2, 1989, Philipines, : **Proceedings ...** Philipines: 1989, p. 43-52.

OLIVEIRA, A. M. F. et al. Agentes destruidores da madeira. In: MANUAL DE PRESERVAÇÃO DE MADEIRAS. São Paulo: IPT, 1986. p. 99-275.

OLIVEIRA, E. et al. Correlações entre parâmetros de qualidade da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden, **Boletim Técnico da SIF**, Viçosa (MG), n. 2, p. 1-9, 1990.

OLIVEIRA, J. T. S. **Caracterização da madeira de eucalipto para a construção civil**. São Paulo, 1997. 2v., 429p. Tese (Doutorado, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo).

OLIVEIRA, J. T. S. Problemas e oportunidades com a madeira de eucalipto. In: WORKSHOP SOBRE TÉCNICAS DE ABATE, PROCESSAMENTO E UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO, 1., 1999, Viçosa (MG). **Anais...** Viçosa (MG): SIF/UFV/DEF, 1999. p.39-52.

PANSHIN, A. J.; DE ZEEUW, C. **Textbook of wood technology**. 4^a ed. New York, McGraw Hill, 1980, 722p.

PIRES, I. E.; PAULA, R. C. Estado de arte do melhoramento genético para qualidade da madeira de eucalipto: uma revisão. In: CONFERÊNCIA IUFRO SOBRE SILVICULTURA E MELHORAMENTO DE EUCALIPTOS, 1997, Salvador. **Anais...** Salvador: IUFRO, 1997, p. 186-191.

PONCE, R. H. Novas tecnologias de desdobro e beneficiamento de madeira: a busca da competitividade. In: CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO, 1, CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7, 1993, São Paulo. **Anais...** São Paulo: SBS/SBEF, 1993, p. 310-314.

PONCE, R. H. Eucalipto: uso alternativo da madeira. In: **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 18, n. 186, p.52-57. 1997.

PRIEST, D. T. The machining properties of *Eucalyptus grandis*. Pretoria, **National Timber Research Institute**. CSIR Special Report HOUT/ 277. p. 9-1, 1982.

PRIEST, D. T. et al. The yield of furniture grade timber from 12 year old *Eucalyptus grandis*. Pretoria: CSIR/ **National Timber Research Institute**. CSIR Special Report, HOUT/ 281, p. 1-9, 1983.

PULKKI, R. Literature synthesis on the effects of wood quality in the manufacture of pulp and paper. New York, **Fabric Technical Note**, n. 171, p. 1-8, 1981.

RANATUNGA, M. S. A study of the fibre lengths of *Eucalyptus grandis* grown in Ceylon. Ceylon, **Ceylon Forestry**, v. 6, p. 101-112. 1964.

RAYMOND, C. A. Tree breeding issues for solid wood products. In: The Future of Eucalypts for Wood Products. 2000, Launceston, Tasmania. **Proceedings...** Launceston, IUFRO, 2000, p. 265 – 270.

REZENDE, M. A.; FERRAZ, E. S. B. Densidade anual da madeira de *Eucalyptus grandis*. Piracicaba (SP), **IPEF**, v. 30, p. 37-41, 1985.

RIBEIRO, F. A.; ZANI FILHO, J. Variação da densidade básica da madeira em espécies/ procedências de *Eucalyptus* spp. Piracicaba (SP), IPEF, v. 46, p. 76-85, 1993.

RIZZINI, C. T. **Árvores e madeiras úteis do Brasil – manual de dendrologia –** 2.ed., São Paulo. Ed. E. Blucher., 1981. 381p.

ROCHA, M. P. ***Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus dunnii* Maiden como fontes de matéria-prima para serrarias.** Curitiba. 2000. 157f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná).

RUDMAN, P.; GAY, F.J. Causes of natural durability in timber and causes of variation in the termite resistance of jarrah (*Eucalyptus marginata* Sm.) Berlim, *Holzforschung*, v. 21, p. 21-3. 1967.

RUY, O. F. **Variação da qualidade da madeira em clones de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake da Ilha de Flores, Indonésia** Piracicaba (SP), 1998. 69f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo)

SANTOS, F. L. C. Perspectivas do mercado nacional de madeiras reflorestadas oriundas de florestas plantadas. In: SIMPÓSIO IPEF – A REENGENHARIA E SEUS IMPACTOS NO DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO DO SETOR FLORESTAL, 4, *Anais ...* São Pedro: IPEF, 1996, v. 3, p. 31-52.

SANTOS, F. L. C. **Qualidade da madeira de eucalipto para produtos sólidos.** Viçosa, MG: DEF/UFV, 1997. (não publicado).

SARDINHA, R. M. A. Wood properties variation of *Eucalyptus saligna* from Angola. *Anais....* Instituto Superior de Agronomia, Lisboa, p. 105-124, 1979.

SEABRIGHT, D. Wood chemistry – the essential ingredients. *Asian Timber*, v. 14, n. 2, p. 33-34, 1995.

SELLA, R. L. Técnicas silviculturais e de exploração para a obtenção de madeira de qualidade para a laminação e serraria. In: SEMINÁRIO MADEIRA DE EUCALIPTO: TENDÊNCIAS E USOS, 2001, Curitiba *Anais...*, Curitiba: FUPEF. 2001, p.19-24.

SERPA, F. G. Cupim, uma ameaça a Olinda, patrimônio da humanidade. São Paulo: ABPM, 1986. (Boletim ABPM, 40).

SHIMOYAMA, V. R. S. **Variações da densidade básica e características anatômicas e químicas da madeira em *Eucalyptus* sp.** Piracicaba, 1990. 93f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo).

SILVA, J. R. M. et al. Análise quali-quantitativa da usinagem da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. In: CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF EUCALYPTS, Salvador. **Anais...** Salvador: IUFRO, 1997, p. 32-35.

SIMULA, M. T.; TISSARI, J. T. Market prospects for *Eucalyptus* solid wood products in the European Common Market. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUTOS SÓLIDOS DE MADEIRA DE ALTA TECNOLOGIA; Belo Horizonte, 1998; ENCONTRO SOBRE TECNOLOGIAS APROPRIADAS DE DESDOBRO, SECAGEM E UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO, 1., 1998, Belo Horizonte. **Anais...** Viçosa: SIF/UFV/DEF, 1998, p. 29-48

SINCLAIR, S. A.; HANSEN, B. G. The relationship between purchase decisions and quality assessment of office furniture. **Wood and Fiber Science**, v. 25, n. 2, p. 142-152. 1993.

SKAAR, C. **Water in wood**. New York, Syracuse University Press, 1972. 218p.

SMOOK, G. A. **Handbook for pulp and paper technologists**, Vancouver, Angus Wilde Publications. 1994, 419p.

STAMM, A. J. **Wood and cellulose science**. New York, The Ronald Press, 1964. 549p.

TAYLOR, F. W. Variations in the anatomical properties of South African grown *Eucalyptus grandis*, **Appita**, p. 171-178. 1973.

TOMASELLI, I. Processing young *Eucalyptus* . In: The Future of Eucalypts for Wood Products. 2000, Launceston, Tasmania. **Proceedings...** Launceston, IUFRO, 2000, p. 167-174.

TOMAZELLO FILHO, M. Estrutura anatômica da madeira de oito espécies de eucalipto cultivadas no Brasil. **IPEF**, Piracicaba, v. 29, p. 25-36. 1985a.

TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus grandis*. **IPEF**, Piracicaba, v.29, p.37-45, 1985b.

TOMAZELLO FILHO, M. Formação e variação da estrutura de madeira de *Eucalyptus*. Piracicaba: ESALQ/DCF, 1988. 30p.

TRUGILHO, P. F. Influência da idade e das características físico-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*. **CERNE**, Lavras (MG) v. 2, n. 1, p. 94-111, 1996.

TRUGILHO, P. F. et al. Influência da idade nas características físicas, químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus grandis*. In: CONFERÊNCIA IUFRO SOBRE SILVICULTURA E MELHORAMENTO DE EUCALIPTOS, 1997, Salvador. **Anais...** Salvador, IUFRO, 1997, p. 269-275.

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood: Structure, properties and utilization**. New York, : Van Nostrand Reinold, 1991, 494p.

VASCONCELOS DIAS, R. L. & CLÁUDIO DA SILVA JR., E. A influência da densidade básica da madeira de híbridos de *Eucalyptus grandis* em suas características químicas e propriedades de polpações e do papel. In: CONGRESSO ANUAL DA ABTCP, **Anais...** São Paulo, ABCP, 1985. p 31-35.

VITAL, B. R. Efeito da idade da árvore na densidade da madeira de *Eucalyptus grandis* cultivado na região do cerrado de Minas Gerais. Brasília: IBDF, Brasília, 1987, p. 49-52. (Boletim Técnico, 8).

VITAL, B. R.; DELLA LUCIA, R. M. Propriedades físicas e mecânicas da madeira de eucalipto. In: **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, n. 141, p.57-61, 1986.

VITAL, B. R.; TRUGILHO, P. F. Variação dimensional e uso da madeira de *Eucalyptus*. In: **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 18, n. 186, p. 57-61. 1997.

VITAL, B. R.; JESUS, R. M.; VALENTE, O. F. Efeito da constituição química e da densidade da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* na produção de carvão vegetal. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 10, n. 2 p. 151-60. 1986

WILKES, J. The influence of rate of growth on the density and heartwood extractives content of eucalypt species. **Wood Science and Technology**, v. 18, p.113-120. 1984.

WILKES, J. Variations in wood anatomy within of *Eucalyptus*. Australia. **IAWA Bulletin**, v. 9, n. 1, p. 13-23. 1988.

WINANDY, J. E.; ROWEL, R. M. The chemistry of wood strength. In: ROWEL, R. M. **The chemistry of solid wood**. Washington. American Chemical Society, c. 5, p .211-256, 1984.

ZENID, G. J. Classificação de madeira serrada de eucalipto – Proposta ABPM/IPT. In: SEMINÁRIO SOBRE PROCESSAMENTO E UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE REFLORESTAMENTO, 1996. Curitiba. **Anais....** Curitiba, ABPM/ SBS, 1996, p. 91-96.

ZHANG, S.Y. Mechanical properties in relation to specific gravity in 342 chinese woods. **Wood and Fiber Science**, v. 26, n. 4,p.512-26.1994.

ZOBEL, J. B.; BUJTENEN, J. P. **Wood variation: its causes and control**. New York, Springer-Verlag, 1989. 363p.

ZOBEL, B. J. & JETT, J. B. **Genetic of wood production**. Berlin:Spring-Verlag,

ANEXOS

ANEXO 1 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA DA
MADEIRA DE *Eucalyptus grandis*

Causa da Variação	G. L.	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	P
PRINCIPAIS EFEITOS					
A: IDADE	3	1,74418	0,581394	524,46*	0,0000
B: MEDULA-CASCA	3	1,43668	0,478892	432,00*	0,0000
INTERAÇÕES					
AB	9	0,397842	0,0442047	39,88*	0,0000
RESÍDUO	749	0,830311	0,00110856		
TOTAL (Corrigido)	764	4,42603			

NOTA: * SIGNIFICATIVO A 95% DE PROBABILIDADE.

ANEXO 2 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA MASSA ESPECÍFICA APARENTE
DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis*

Causa da Variação	G. L.	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	P
PRINCIPAIS EFEITOS					
A: IDADE	3	1,22186	0,407286	24,27*	0,0000
B: MEDULA-CASCA	3	1,44304	0,481012	146,76*	0,0000
INTERAÇÕES					
AB	9	0,178724	0,019858	26,06*	0,0000
RESÍDUO	394	1,29134	0,00327751		
TOTAL (Corrigido)	409	4,22166			

NOTA: * SIGNIFICATIVO A 95% DE PROBABILIDADE.

ANEXO 3 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO TEOR DE EXTRATIVOS DA
MADEIRA DE *Eucalyptus grandis*

Causa da Variação	G. L.	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	P
PRINCIPAIS EFEITOS					
A: IDADE	3	21,9883	7,32943	34,67*	0,0000
B: POSIÇÃO DO DISCO	2	51,2 25,6	121,09*	0,0000	
INTERAÇÕES					
AB	6	9,53998	1,58998	7,52*	0,0000
RESÍDUO	84	17,7587	0,211413		
TOTAL (Corrigido)	95	100,487			

NOTA: * SIGNIFICATIVO A 95% DE PROBABILIDADE.

ANEXO 4 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO TEOR DE LIGNINA DA MADEIRA
DE *Eucalyptus grandis*

Causa da Variação	G. L.	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	P
PRINCIPAIS EFEITOS					
A: IDADE	3	108,63	36,2101	20,29*	0,0000
B: POSIÇÃO DO DISCO	2	85,4452	42,7226	23,94*	0,0000
INTERAÇÕES					
AB	6	3,33563	0,555938	0,31 ^{NS}	0,9293
RESÍDUO	84	149,904	1,78457		
TOTAL (Corrigido)	95	347,315			

NOTA: * SIGNIFICATIVO A 95% DE PROBABILIDADE; NS NÃO SIGNIFICATIVO.

ANEXO 5 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO TEOR DE HOLOCELULOSE DA
MADEIRA DE *Eucalyptus grandis*

Causa da Variação	G. L.	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	P
PRINCIPAIS EFEITOS					
A: IDADE	3	192,244	64,0813	31,25*	0,0000
B: POSIÇÃO DO DISCO	2	268,926	134,463	65,56*	0,0000
INTERAÇÕES					
AB	6	14,9376	2,4896	1,21 ^{NS}	0,3073
RESÍDUO	84	172,273	2,05087		
TOTAL (Corrigido)	95	648,38			

NOTA: * SIGNIFICATIVO A 95% DE PROBABILIDADE; NS NÃO SIGNIFICATIVO.

ANEXO 6 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO COMPRIMENTO DE FIBRAS DA
MADEIRA DE *Eucalyptus grandis*

Causa da Variação	G. L.	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	P
PRINCIPAIS EFEITOS					
A: IDADE	3	21,466	7,15532	230,07*	0,0000
B: MEDULA-CASCA	4	107,79	26,9475	866,78*	0,0000
INTERAÇÕES					
AB	12	6,26747	0,522289	16,79*	0,0000
RESÍDUO	4778	148,596	0,0311		
TOTAL (Corrigido)	4797	284,079			

NOTA: * SIGNIFICATIVO A 95% DE PROBABILIDADE.

ANEXO 7 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA LARGURA DAS FIBRAS DA
MADEIRA DE *Eucalyptus grandis*

Causa da Variação	G. L.	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	P
PRINCIPAIS EFEITOS					
A: IDADE	3	2657,24	885,746	72,78*	0,0000
B: MEDULA-CASCA	4	4427,96	1106,99	90,96*	0,0000
INTERAÇÕES					
AB	12	1012,75	84,3958	6,93*	0,0000
RESÍDUO	4778	58146,6	12,1697		
TOTAL (Corrigido)	4797	66232,9			

NOTA: * SIGNIFICATIVO A 95% DE PROBABILIDADE.

ANEXO 8 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO DIÂMETRO DO LUME DAS
FIBRAS DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis*

Causa da Variação	G. L.	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	P
PRINCIPAIS EFEITOS					
A: IDADE	3	6151,96	2050,65	182,88*	0,0000
B: MEDULA-CASCA	4	1660,73	15,183	37,03 *	0,0000
INTERAÇÕES					
AB	12	3774,15	314,513	28,05 *	0,0000
RESÍDUO	4778	53576,0	11,2131		
TOTAL (Corrigido)	4797	65159,4			

NOTA: * SIGNIFICATIVO A DE 95% DE PROBABILIDADE.

ANEXO 9 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA ESPESSURA DA PAREDE DAS
FIBRAS DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis*

Causa da Variação	G. L.	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	P
PRINCIPAIS EFEITOS					
A: IDADE	3	296,655	98,885	77,66*	0,0000
B: MEDULA-CASCA	4	1310,86	327,715	257,37*	0,0000
INTERAÇÕES					
AB	12	3	5,244	28,7703	22,59* 0,0000
RESÍDUO	4778	6083,99	1,27333		
TOTAL (Corrigido)	4797	8036,92			

NOTA: * SIGNIFICATIVO A 95% DE PROBABILIDADE.

ANEXO 10 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO DIÂMETRO TANGENCIAL DOS
VASOS DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis*

Causa da Variação	G. L.	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	P
PRINCIPAIS EFEITOS					
A: IDADE	3	16395,45	5465,15	22,517*	0,0000
B: MEDULA-CASCA	4	113042,6	28260,65	116,439*	0,0000
INTERAÇÕES					
AB	12	7439,773	249,2007	14,25*	0,0000
RESÍDUO	232	56308,06	242,7072		
TOTAL (Corrigido)	239	185746,1			

NOTA: * SIGNIFICATIVO A 95% DE PROBABILIDADE.

ANEXO 11 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA FREQUÊNCIA DE VASOS DA
MADEIRA DE *Eucalyptus grandis* DE DIFERENTES IDADES

Causa da Variação	G.L.	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	P
PRINCIPAIS EFEITOS					
A: IDADE	3	112,3053	37,43509	11,563*	0,0000
B: MEDULA-CASCA	4	1538,512	38,6280	118,809*	0,0000
INTERAÇÕES					
AB	12	57,6452	3,458729	3,458*	0,0000
RESÍDUO	232	751,0667	3,237356		
TOTAL (Corrigido)	239	2401,884			

NOTA: * SIGNIFICATIVO A 95% DE PROBABILIDADE.

ANEXO 12 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA CONTRAÇÃO VOLUMÉTRICA
TOTAL DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis* DE DIFERENTES
IDADES

Causa da Variação	G. L.	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	P
PRINCIPAIS EFEITOS					
A: IDADE	3	1420,83	473,609	63,22*	0,0000
B: MEDULA-CASCA	3	6147,22	2049,07	273,54*	0,0000
INTERAÇÕES					
AB	9	586,773	65,1969	8,70*	0,0000
RESÍDUO	750	5618,2	7,49093		
TOTAL (Corrigido)	765	13786,2			

NOTA: * SIGNIFICATIVO A 95% DE PROBABILIDADE.

**ANEXO 13 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA CONTRAÇÃO RADIAL DA
MADEIRA DE *Eucalyptus grandis* DE DIFERENTES IDADES**

Causa da Variação	G. L.	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	P
PRINCIPAIS EFEITOS					
A: IDADE	3	160,329	52,443	34,21*	0,0000
B: MEDULA-CASCA	3	691,569	230,523	147,81*	0,0000
INTERAÇÕES					
AB	9	131,658	14,6287	9,38*	0,0000
RESÍDUO	662	1032,47	1,55962		
TOTAL (Corrigido)	677	2022,52			

NOTA: * SIGNIFICATIVO A 95% DE PROBABILIDADE.

**ANEXO 14 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA CONTRAÇÃO TANGENCIAL DA
MADEIRA DE *Eucalyptus grandis* DE DIFERENTES IDADES**

Causa da Variação	G. L.	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	P
PRINCIPAIS EFEITOS					
A: IDADE	3	478,564	159,521	50,03*	0,0000
B: MEDULA – CASCA	3	861,12	620,372	194,58*	0,0000
INTERAÇÕES					
AB	9	202,643	22,5158	7,06*	0,0000
RESÍDUO	662	110,6	3,18821		
TOTAL (Corrigido)	677	4650,73			

NOTA: * SIGNIFICATIVO A 95% DE PROBABILIDADE.

ANEXO 15 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA CONTRAÇÃO LONGITUDINAL
DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis* DE DIFERENTES IDADES

Causa da Variação	G. L.	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	P
PRINCIPAIS EFEITOS					
A: IDADE	3	13,8968	4,63228	12,97*	0,0000
B: MEDULA-CASCA	3	0,470367	0,156789	0,44 ^{NS}	0,7253
INTERAÇÕES					
AB	9	2,11169	0,234632	0,66 ^{NS}	0,7480
RESÍDUO	4	152,883	0,357204		
TOTAL (Corrigido)	443	170,404			

NOTA: * SIGNIFICATIVO A 95% DE PROBABILIDADE; NS NÃO SIGNIFICATIVO.

ANEXO 16 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO FATOR ANISOTRÓPICO DA
MADEIRA DE *Eucalyptus grandis* DE DIFERENTES IDADES

Causa da Variação	G. L.	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	P
PRINCIPAIS EFEITOS					
A: IDADE	3	0,505781	0,168594	1,66 ^{NS}	0,1733
B: MEDULA-CASCA	3	0,773625	0,257875	2,55 ^{NS}	0,0550
INTERAÇÕES					
AB	9	6,10494	0,678327	6,70*	0,0000
RESÍDUO	662	67,0341	0,10126		
TOTAL (Corrigido)	6	74,2577			

NOTA: * SIGNIFICATIVO A 95% DE PROBABILIDADE; NS NÃO SIGNIFICATIVO.

ANEXO 17 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO MÓDULO DE ELASTICIDADE
(MOE) DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis* DE DIFERENTES
IDADES

Causa da Variação	G. L.	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	P
PRINCIPAIS EFEITOS					
A: IDADE	3	1,4093E11	4,69766E10	92,20*	0,0000
B: MEDULA – CASCA	3	1,00099E11	3,33663E10	65,49*	0,0000
INTERAÇÕES					
AB	9	1,54219E10	1,71354E9	3,39*	0,0006
RESÍDUO	394	2,00736E11	5,09482E8		
TOTAL (Corrigido)	409	4,72387E11			

NOTA: * SIGNIFICATIVO A 95% DE PROBABILIDADE.

ANEXO 18 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO MÓDULO DE RUPTURA (MOR)
DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis* DE DIFERENTES IDADES

Causa da Variação	G. L.	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	P
PRINCIPAIS EFEITOS					
A: IDADE	3	4,37704E6	1,45901E6	59,70*	0,0000
B: MEDULA-CASCA	3	8,48386E6	2,82795E6	115,71*	0,0000
INTERAÇÕES					
AB	9	1,24981E6	138867,0	5,68*	0,0000
RESÍDUO	394	9,6291E6	24439,4		
TOTAL (Corrigido)	409	2,46283E7			

NOTA: * SIGNIFICATIVO A 95% DE PROBABILIDADE.

ANEXO 19 - COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO DE PEARSON ENTRE A MASSA ESPECÍFICA BÁSICA E AS CONTRAÇÕES LINEARES E VOLUMÉTRICA DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis* EM RELAÇÃO À IDADE E POSIÇÃO RADIAL NO SENTIDO MEDULA-CASCA

	IDADE	POSIÇÃO	M E BÁS	C VOLUM	C RADIAL	C TANG	C LONG	T / R
IDADE	-	-	0,4481	0,1643	0,1128	0,1420	0,2260	0,0677
POSIÇÃO	-	-	0,5377	0,6621	0,5902	0,6343	0,0088	-0,0801
M E BÁS	0,4481	0,5377	-	0,5599	0,5086	0,4473	0,0914	-0,1353
C VOLU	0,1643	0,6621	0,5599	-	0,8746	0,9054	0,1619	-0,0940
C RADIA	0,1128	0,5902	0,5086	0,8746	-	0,7738	0,0387	-0,4663
C TANG	0,1420	0,6343	0,4473	0,9054	0,7738	-	0,0308	0,1680
C LONG	0,2260	0,0088	0,0914	0,1619	0,0387	0,0308	-	-0,0084
T/R	0,0677	0,0801	0,1353	0,0940	0,4663	0,1680	0,0084	-

NOTA: M E BAS = massa específica básica; C VOLUM = contração volumétrica total; C RADIAL = contração radial; C TANG = contração tangencial; C LONG= contração tangencial; T/R = coeficiente anisotrópico

ANEXO 20 - COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO DE PEARSON ENTRE AS CARACTERÍSTICAS DIMENSIONAIS ANATÔMICAS DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis* EM RELAÇÃO À IDADE E POSIÇÃO RADIAL NO SENTIDO MEDULA-CASCA

	IDADE	POSIÇÃO	COMP FIBRA	LARG FIBRA	DIAM LUME	ESP PAREDE
IDADE	-	-	0,2251	-0,1515	-0,2354	0,1157
POSIÇÃO	-	-	0,5935	0,2414	-0,0313	0,3910
COMP FIBRA	0,2251	0,5935	-	0,1908	-0,0191	0,3011
LARG FIBRA	-0,1515	0,2414	0,1908	-	0,7554	0,3600
DIAM LUME	-0,2354	-0,0313	-0,0191	0,7554	-	-0,3395
ESP PAREDE	0,1157	0,3910	0,3011	0,3600	-0,3395	-

NOTA: COM FIBRA = comprimento de fibra; LARG FIBRA= largura de fibra; DIAM LUME = diâmetro do lume; ESP PAREDE = espessura da parede.

ANEXO 21 - COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO DE PEARSON ENTRE OS COMPONENTES QUÍMICOS DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis* EM RELAÇÃO À IDADE E POSIÇÃO LONGITUDINAL NO SENTIDO BASE-TOPO

	IDADE	POSIÇÃO	EXT TOTAIS	LIGNINA	HOLOCELULOSE
IDADE	-	-	0,4254	0,3394	-0,4159
POSIÇÃO	-	-	-0,6573	-0,4581	0,5940
EXT TOTAIS	0,4254	-0,6573	-	0,5368	-0,7866
LIGNINA	0,3394	-0,4581	0,5368	-	-0,9432
HOLOCELUL	-0,4159	0,5940	-0,7866	-0,9432	-

NOTA: EXT TOTAIS = extrativos totais.

ANEXO 22 - COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO DE PEARSON ENTRE A MASSA ESPECÍFICA APARENTE E AS PROPRIEDADES DE RESISTÊNCIA MECÂNICA DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis* EM RELAÇÃO À IDADE E POSIÇÃO RADIAL NO SENTIDO MEDULA-CASCA

	IDADE	POSIÇÃO	M E APAR	MOE	MOR
IDADE	-	-0,0052	0,4140	0,3799	0,3061
POSIÇÃO	-0,0052	-	0,5883	0,4859	0,6073
M E APAR	0,4140	0,5883	-	0,7976	0,8812
MOE	0,3799	0,4859	0,7976	-	0,8338
MOR	0,3061	0,6073	0,8812	0,8338	-

NOTA: M E APAR = massa específica aparente; MOE = módulo de elasticidade em flexão estática; MOR = módulo de ruptura em flexão estática.

ANEXO 23 - COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO DE PEARSON ENTRE OS
TESTES DE USINAGEM DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis* EM
RELAÇÃO À IDADE

	IDADE	APLAIN	FRESA	PERFIL	FUR EP	FURAÇ	C PARL	C TRAN
IDADE	-	0,2221	0,4065	0,2251	0,2980	0,5080	0,3077	0,4601
APLAIN	0,2221	-	-0,1716	-0,0588	-0,0397	-0,2720	-0,2437	-0,0962
FRESA	0,4065	-0,1716	-	-0,1590	-0,0647	-0,2105	-0,1984	-0,2342
PERFIL	0,2251	-0,0588	-0,1590	-	-0,1901	-0,1451	-0,1432	-0,2343
FUR EP	0,2980	-0,0397	-0,0647	-0,1901	-	-0,1183	-0,0790	-0,3566
FURAÇ	0,5080	-0,2720	-0,2105	-0,1451	-0,1183	-	-0,2213	-0,2915
C PARL	0,3077	-0,2437	-0,1984	-0,1432	-0,0790	-0,2213	-	-0,0536
C TRAN	0,4601	-0,0962	-0,2342	-0,2343	-0,3566	-0,2915	-0,0536	-

NOTA: APLAIN= aplainamento; FRESA= fresagem; PERFIL= cópia de perfil; FUR EP= furação para espiga; FURAÇ = furação; C PARL= corte paralelo; C TRAN= corte transversal.